

**Aszály és belvíz monitoring és menedzsment,
valamint a kapcsolódó kockázatok
a Dél-Alföldön és a Vajdaságban**

**Monitoring, rizici i upravljanje sušom
i suvišnim unutrašnjim vodama na jugu
Mađarske i u Vojvodini**

**Monitoring, risks and management
of drought and inland excess water
in South Hungary and Vojvodina**

**Aszály és belvíz monitoring és menedzsment,
valamint a kapcsolódó kockázatok a Dél-Alföldön és a Vajdaságban**

**Monitoring, rizici i upravljanje sušom i suvišnim
unutrašnjim vodom na jugu Mađarske i u Vojvodini**

**Monitoring, risks and management of drought
and inland excess water in South Hungary and Vojvodina**

Szerkesztette / Urednici/Edited by

Ladányi Zsuzsanna

Blanka Viktória

Kiadja / Izdavač / Published by

Szegedi Tudományegyetem, Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék /
University of Szeged Department of Physical Geography and Geoinformatics

Projekt partnerek / Partneri na projektu / Project partners

Alsó-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság / Lower-Tisza-District Water Directorate

Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet /

University of Novi Sad Faculty of Sciences

Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet /

University of Novi Sad Faculty of Agriculture

Javno Vodoprivredno Preduzeće Vode Vojvodine /

Public Water Management Company Vode Vojvodine

ISBN 978-963-306-679-9

ISBN 978-963-306-680-5 (online)

Tördelés és nyomtatás / Priprema i štampanje / Layout and printing

Innovariant Nyomdaipari Kft.

www.innovariant.hu

Szeged, 2019

Szerzők/Autori/Authors

Barta, Károly (University of Szeged)
Basarin, Biljana (University of Novi Sad Faculty of Sciences)
Benyhe, Balázs (Lower-Tisza-District Water Directorate)
Benka, Pavel (University of Novi Sad Faculty of Agriculture)
Bezdan, Atila (University of Novi Sad Faculty of Agriculture)
Bezdan, Jovana (University of Novi Sad Faculty of Agriculture)
Blagojević, Boško (University of Novi Sad Faculty of Agriculture)
Blanka, Viktória (University of Szeged)
Blažević, Aniko (PWMC Vode Vojvodine)
Cseuz László (Cereal Research Non-Profit Ltd.)
Gavrilov, Milivoj (University of Novi Sad Faculty of Sciences)
Gavrilović, Olivera (PWMC Vode Vojvodine)
Gulácsi András (University of Szeged)
Janković, Duško (PWMC Vode Vojvodine)
Kovács, Ferenc (University of Szeged)
Ladányi, Zsuzsanna (University of Szeged)
Lukić, Tin (University of Novi Sad Faculty of Sciences)
Marković, Slobodan (University of Novi Sad Faculty of Sciences)
Mesaroš, Minučer (University of Novi Sad Faculty of Sciences)
Mezősi, Gábor (University of Szeged)
Milić, Dragan (University of Novi Sad Faculty of Agriculture)
Nagy Imre (University of Novi Sad Faculty of Sciences)
Nagy Zsuzsanna (DHI Hungary Kft.)
Njegomir, Milan (PWMC Vode Vojvodine)
Pálfi Gergely (DHI Hungary Kft.)
Pavić, Dragoslav (University of Novi Sad Faculty of Sciences)
Pejić, Borivoj (University of Novi Sad Faculty of Agriculture)
Priváčzkiné Hajdu Zsuzsanna (Lower-Tisza-District Water Directorate)
Rakonczai János (University of Szeged)
Sipos, György (University of Szeged)
Szalma Elemér (Cereal Research Non-Profit Ltd.)
Szatmári, József (University of Szeged)
Szilassi, Péter (University of Szeged)
Tica, Nedeljko (University of Novi Sad Faculty of Agriculture)
Tobak, Zalán (University of Szeged)
van Leeuwen, Boudewijn (University of Szeged)
Vranešević, Milica (University of Novi Sad Faculty of Agriculture)
Vuksanović, Gordana (University of Novi Sad Faculty of Sciences)
Zekić, Vladislav (University of Novi Sad Faculty of Agriculture)

Aszály és belvíz monitoring és menedzsment, valamint a kapcsolódó kockázatok a Dél-Alföldön és a Vajdaságban

Előszó helyett	9
1. Bevezetés	10
<i>Blanka Viktória; Ladányi Zsuzsanna; Mezősi Gábor; Rakonczai János</i>	
2. Belvíz elöntések nagy pontosságú térképezése és monitorozása	13
<i>Tobak Zalán; van Leeuwen, Boudewijn; Kovács Ferenc; Szatmári József</i>	
3. Talajnedvességen alapuló aszálymonitoring távérzékelés és terepi adatok alapján	23
<i>van Leeuwen, Boudewijn; Barta Károly; Ladányi Zsuzsanna; Blanka Viktória, Sipos György</i>	
4. Különböző méretarányú vegetáció monitoring célú távérzékelési adatgyűjtés és –elemzés 2000-től napjainkig a Délkelet-Alföldön és a Vajdaságban	34
<i>Kovács Ferenc; Ladányi Zsuzsanna; Blanka Viktória; Szilassi Péter; van Leeuwen, Boudewijn; Tobak Zalán; Gulácsi András; Szalma Elemér; Cseuz László</i>	
5. Mezőgazdasági aszálykockázat-becslés a Vajdaságban. A mezőgazdasági aszály monitorozásához megfelelő SPEI index kiválasztása a Vajdaságra	48
<i>Bezdan, Atila; Vranešević, Milica; Blagojević, Boško; Pejić, Borivoj; Bezdan, Jovana; Milić, Dragan; Tica, Nedeljko; Zekić, Vladislav</i>	
6. Az aszály és a belvíz társadalmi és gazdasági következményei a Vajdaságban/Szerbiában	62
<i>Nagy Imre; Vuksanović, Gordana; Mesaroš, Minučer; Marković, Slobodan; Gavrilov, Milivoj; Pavić, Dragoslav; Basarin, Biljana; Lukić, Tin</i>	
7. A Csúrog-Zsabyai vízrendszer hidrológiai értékelése	69
<i>Bezdan, Atila; Gavrilović, Olivera; Njegomir, Milan; Blažević, Aniko; Janković, Duško; Vranešević, Milica; Blagojević, Boško; Benka, Pavel</i>	
8. Csatornarendszerek üzemeltetése és integrált vízgazdálkodás – a Dong-ér vízgyűjtő területe	83
<i>Nagy Zsuzsanna; Pálfi Gergely; Priváczkiné Hajdu Zsuzsanna; Benyhe Balázs</i>	
Irodalomjegyzék	277

Monitoring, rizici i upravljanje sušom i suvišnim unutrašnjim vodama na jugu Mađarske i u Vojvodini

Umesto predgovora	97
1. Uvod	98
<i>Viktória Blanka; Zsuzsanna Ladányi; Gábor Mezősi; János Rakonczai</i>	
2. Monitoring i kartiranje plavljenja unutrašnjim vodama sa velikom tačnošću	101
<i>Zalán Tobak; Boudewijn van Leeuwen; Ferenc Kovács; József Szatmári</i>	
3. Monitoring suše na osnovu vlažnosti zemljišta pomoću daljinske detekcije i terenskih merenja	111
<i>Boudewijn van Leeuwen; Károly Barta; Zsuzsanna Ladányi; Viktória Blanka, György Sipos</i>	
4. Prikupljanje podataka daljinskom detekcijom i analiza podataka s ciljem monitoringa vegetacije različitih razmera od 2000. do danas na jugoistoku Panonske nizije, Mađarskoj i Vojvodini	122
<i>Ferenc Kovács; Zsuzsanna Ladányi; Viktória Blanka; Péter Szilassi; Boudewijn van Leeuwen; Zalán Tobak; András Gulácsi; Elemér Szalma; László Cseuz</i>	
5. Procena rizika od poljoprivredne suše u Vojvodini. Odabir odgovarajućeg indeksa SPEI za potrebe praćenja poljoprivredne suše u Vojvodini	136
<i>Atila Bezdan; Milica Vranešević; Boško Blagojević; Borivoj Pejić; Jovana Bezdan; Dragan Milić; Nedeljko Tica; Vladislav Zekić</i>	
6. Socioekonomske posledice suša i suvišnih unutrašnjih voda u Vojvodini/Srbiji	150
<i>Imre Nagy; Gordana Vuksanović; Minučer Mesaroš; Slobodan Marković; Milivoj Gavrilov; Dragoslav Pavić; Biljana Basarin; Tin Lukić</i>	
7. Čuruško-Žabaljski sliv	157
<i>Atila Bezdan, Olivera Gavrilović, Milan Njegomir, Aniko Blažević, Duško Janković, Milica Vranešević, Boško Blagojević, Pavel Benka</i>	
8. Funkcionisanje kanalskih sistema i višefunkcionalno upravljanje vodama – sliv potoka Dong	172
<i>Zsuzsanna Nagy; Gergely Pálfi; Zsuzsanna Priváczkiné Hajdu; Balázs Benyhe</i>	
Literatura	277

Monitoring, risks and management of extreme hydro-climatic conditions in South Hungary and Vojvodina

Instead of a foreword	187
1. Introduction	188
<i>Viktória Blanka; Zsuzsanna Ladányi; Gábor Mezősi; János Rakonczai</i>	
2. High precision mapping and monitoring of excess water inundations	191
<i>Zalán Tobak; Boudewijn van Leeuwen; Ferenc Kovács; József Szatmári</i>	
3. Soil moisture based drought monitoring by remote sensing and field measurements	201
<i>Boudewijn van Leeuwen; Károly Barta; Zsuzsanna Ladányi; Viktória Blanka, György Sipos</i>	
4. Remote sensing data collection and analysis for vegetation monitoring since 2000 at various scales in Southeast Hungary and Vojvodina	212
<i>Ferenc Kovács; Zsuzsanna Ladányi; Viktória Blanka; Péter Szilassi; Boudewijn van Leeuwen; Zalán Tobak; András Gulácsi; Elemér Szalma; László Cseuz</i>	
5. Agricultural Drought Risk Assessment in Vojvodina. Selecting the Right SPEI Index for Monitoring Agricultural Drought in Vojvodina	226
<i>Atila Bezdan; Milica Vranešević; Boško Blagojević; Borivoj Pejić; Jovana Bezdan; Dragan Milić; Nedeljko Tica; Vladislav Zekić</i>	
6. Social and economic impacts of drought and inland excess water in Vojvodina/Serbia	240
<i>Imre Nagy; Gordana Vuksanović; Minučer Mesaroš; Slobodan Marković; Milivoj Gavrilov; Dragoslav Pavić; Biljana Basarin; Tin Lukić</i>	
7. The Čurug-Žabalj Drainage System	247
<i>Atila Bezdan, Olivera Gavrilović, Milan Njegomir, Aniko Blažević, Duško Janković, Milica Vranešević, Boško Blagojević, Pavel Benka</i>	
8. Operation of canal systems and multi-purpose water management – Dong-ér catchment	262
<i>Zsuzsanna Nagy; Gergely Pálfi; Zsuzsanna Priváczkiné Hajdu; Balázs Benyhe</i>	
References	277

Előszó helyett

„Jelen tanulmány nem jöhetett volna létre...” Gyakori szófordulat projekt dokumentumok kötelező elemeként, melyet azután az anyagi támogatást nyújtó intézmény, szponzor vagy kutatási program neve követ. Ugyanakkor a legtöbb esetben kevés köszönet illeti az embert. Az embert akinek fejből a projektötlet kipattan, aki hosszas szervezőmunkával összeácsolja a partnerséget, aki nem kis számú kollégát motivál sikeresen a munkára, a nemzetközi együttműködésre, és a tudományos eredmények gyakorlati hasznosítására. Az embert, aki végig koordinálja a projekt megvalósítását, minden rendezvényen részt vesz, ha kell előadást tart vagy szekciót vezet, ha kell a háttérben marad és teret ad a fiatalabb kollégáknak, és nem mellesleg a közös munka során már a következő projekt alapjait fekteti le kiváló stratégiai érzékkel. És az embert aki nélkül valóban nem jöhetett volna létre nemcsak ez a projekt és annak záró dokumentuma, de számos másik sem.

Ilyen Ember Mezősi Gábor, a Szegedi Tudományegyetem Természeti Földrajzi Tanszékének professzora, aki több mint 40 éves pályája során sokrétű oktatási, kutatási és tudományszervezési tevékenysége mellett számtalan hazai és nemzetközi projekt szervezésében és lebonyolításában vállalt kulcsszerepet. Ezzel sikeresen megalapozta többek között az Újvidéki Egyetem és a Vajdasági Vizek több tanszékével és osztályával is a projekt alapú együttműködést, illetve elmélyítette és jelentős szakmai tartalommal töltötte meg az Alsó Tiszavidéki Vízügyi Igazgatósággal folytatott közös munkát. Ennek kézenfekvő eredménye a jelen kötet is, amit az olvasó a kezében tart, és e kötet keretein belül is szeretnénk köszönetet mondani Gábornak kitartó és áldozatos munkájáért, amivel lehetőségeket teremtett és új kapukat nyitott ki a projekt résztvevői számára.

Köszönjük!

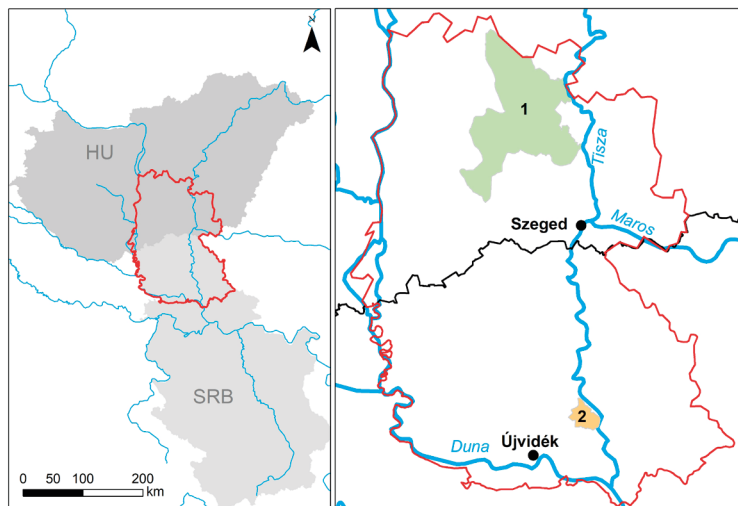
A projekt csapata



1. Bevezetés

Blanka Viktória, Ladányi Zsuzsanna, Mezősi Gábor, Rakonczai János

Napjaink egyik legjelentősebb környezeti problémája a klímaváltozás, melynek kedvezőtlen hatásai az egész Földre kiterjednek. Az elmúlt évszázad során a Föld átlaghőmérséklete $+0,7^{\circ}\text{C}$ -kal melegedett és a csapadék szempontjából is kedvezőtlen változások zajlottak, hiszen mindkét félteke kiterjedt mérsékletövi térségeiben mind a hosszú csapadékhányos időszakok, mind pedig az egyedi nagy csapadékmennyiségek gyakorisága növekedett (OMSZ 2019). A klímaváltozás a Kárpát-medence területét is hangsúlyosan érinti, a globális átlagnál jobban melegedő régiók közé tartozik, valamint a szélsőséges csapadék ellátottságú időszakok is egyre gyakoribbá váltak. A leírt változások különösen érzékenyen érintik az alföldi területeket, így a vizsgálati területet, a Dél-Alföld (Csongrád és Bács-Kiskun megye) és a Vajdaság területét is (1.1 ábra). Az éghajlati változások és a természetföldrajzi adottságok miatt a térség vízellátottsága igen szélsőségesen változik, mind aszályok (Fiala et al. 2014), mind belvizek (Bozán et al. 2013) sújtják a területet, melyek egymást követő években, sőt akár ugyanazon évben is előfordulhatnak. Éppen ezért a vizsgálati területen a klímaváltozással és a vízháztartási szélsőségekkel összefüggő problémák földrajzi megfigyelése fontos és már több évtizedes múltra tekint vissza (Kovács 2007, Ladányi et al. 2011a, Rakonczai 2011).

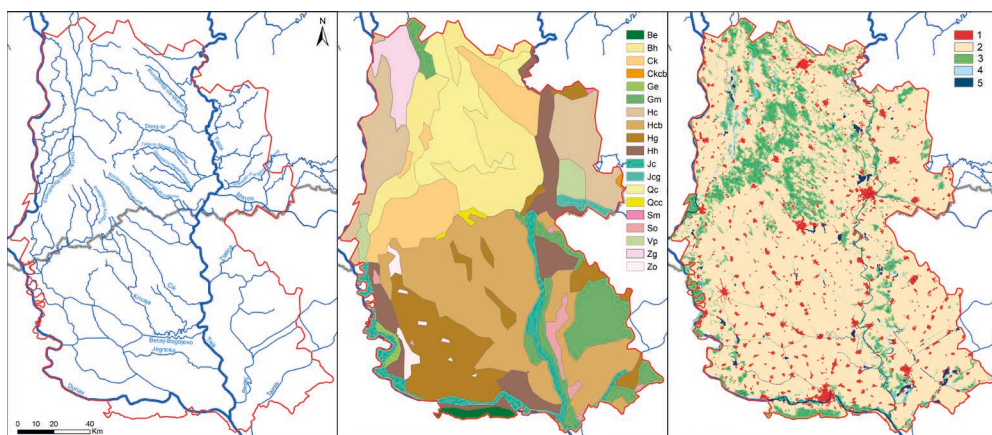


1.1. ábra A vizsgálati terület elhelyezkedése

A terület legnagyobb részét kitevő síkvidéki az évi középhőmérséklet 11°C körül, az évi csapadékmennyiség 500-600 mm. A legmelegebb júliusi hónapban a középhőmérséklet jellemzően 21°C és 23°C között alakul, míg a csapadék a nyári félévben

300 mm körüli (Smailagic et al. 2013, OMSZ 2019b). Az utóbbi évtizedek éghajlat változási tendenciáit megvizsgálva emelkedő hőmérséklet és kismértékben csökkenő csapadék figyelhető meg (Blanka et al. 2013; Spinoni et al. 2013), 20-30 mm csapadékhiányt okozva a területen évente. Megfigyelhető továbbá, hogy a szélsőséges időjárási helyzetek előfordulási gyakorisága is változott. Az átlagosnál szárazabb évek gyakorisága növekedett, a csapadék időbeli eloszlása egyre kedvezőtlenebb, mivel a hosszú száraz időszakok mellett a főként a nyári időszakban tapasztalható rövid idő alatt hulló nagycsapadékok hatására az értékes vízkészlet lefolyási aránya emelkedett (Mezősi et al. 2016).

Jelentősebb természetes vízfolyások a területen a Duna, a Tisza, a Maros és a Tamis, melyek mellett a felszíni vízfolyásokat főként a mesterségesen kialakított csatornahálózat jelenti (1.2a ábra). Az éghajlati változásokkal párhuzamosan megfigyelhető a felszíni vizek mennyiségének térbeli és időbeli változékonysága is (Kiss és Blanka 2012, Sipos 2006). Ez a fokozódó árvíz (pl. 2013-ban a Dunán) és belvízi elöntés veszély mellett elnyúló kisvízes időszakokkal jár, melyek egyre nagyobb gazdasági, társadalmi és környezeti terhet jelentenek a vizsgált terület számára. Összességében az éves vízmérleg a térségben csökkenő trendet mutat, mind a felszíni, mind a felszín alatti vizek esetében. A felszíni lefolyás az év nagy részében jelentéktelen, ami jelentősen hozzájárul a terület klíma érzékenységéhez, valamint a jövőben várható víz stressz növekedéséhez.



1.2. ábra A vizsgált terület vízhálózata, talajtípusai (FAO 1985) (Be: barnaföldek; Bh: humuszos homoktalajok; Ck, Ckcb: mészlepedékes csernozjomok; Ge, Gm: típusos réti talajok; Hc: réti csernozjomok; Hcb, Hh: csernozjomok; Hg: csernozjom réti talajok; Jc, Jcg: öntéstalajok; Qc, Qcc: futóhomokok; Sm: sztyeppesedő réti szolonyec; So: réti szolonyec; Vp, Vpg: agyagos réti talajok; Zg, Zo: szoloncsákok) és területhasználata (Corine 2018) (1: mesterséges felszínek; 2: mezőgazdasági területek; 3: erdők és természetközeli területek; 4: Vizenyős területek; 5: Vízfelületek)

A vizsgált terület mind talajtípusát, mind az előforduló talajok fizikai, vízgazdálkodási típusait illetően igen változatos (1.2b ábra). Domináns talajtípusnak a csernozjom talajokat, ill. különböző változatait tekinthetjük, melyek morzsás szerkezetüknek köszönhetően jó víz- és tápanyag-gazdálkodást biztosítanak a mezőgazdasági

művelés számára. A homoktalajok (futóhomok, humuszos homoktalajok, valamint csernozjom jellegű homoktalajok) szintén jelentősebb arányt képviselnek, melyek vízgazdálkodási tulajdonságai igen kedvezőtlenek, mivel nagy víznyelő képességgel és gyenge víztartó képességgel rendelkeznek. Területi kiterjedésük szempontjából fontos még kiemelni a réti talajokat, melyek víznyelő képessége többnyire közepes vagy rossz, víztartó képessége erős.

A terület felszínborítását és tájhasználatát tekintve megállapítható a mezőgazdasági területek dominanciája (1.2c ábra). A térségben az elmúlt két évszázadban jelentős területeket vontak művelésbe, így az agárterületek aránya magas, míg a természetes vegetáció viszonylag kis kiterjedésben maradt fenn. A fennmaradt természetes területeken is kedvezőtlen folyamatok figyelhetők meg, ugyanis az utóbbi évtizedek klímaváltozása, valamint az emberi tevékenység nyomán a vizes élőhelyek sokfelé kiszáradásnak indultak, amit a növényzet degradációja és átalakulása kísér (Rakonczai et al. 2014b).

A szélsőséges vízháztartási helyzetek mind társadalmi-gazdasági, mind környezeti szempontból komoly károkat okoznak, és jelentős vízgazdálkodási konfliktusokat is generálnak. Belvizes időszakokban a szélsőséges csapadéktevékenység által előidézett többletvíz vízelvezetési gyakorlata generál konfliktusokat a bel- és külterületeken egyaránt, az aszályos időszakokban pedig a víz elérhetőségének korlátozottsága és a vízfelhasználás gyakorlata okozza a problémákat. Számos probléma kapcsolódik az agrárterületek öntözéséhez, mivel a viszonylag sűrű csatornahálózat ellenére – jelen körülmények között – a vízfolyások öntözésre alig alkalmasak. Az öntözéshez szükséges felszíni vizek hiánya miatt szárazság/aszály idején a gazdák felszín alatti vízkészletből öntöznek, ami tovább fokozza a klimatikus okok miatt egyébként is csökkenő talajvízkészletek hiányát. További probléma, hogy a térségi vízviszartartás és a keletkező használt vizek hasznosítása még kezdetleges, így a keletkező vízkészletek nem megfelelően hasznosulnak a régióban (Rakonczai et al. 2014b).

Az aszály és belvíz kedvezőtlen hatásainak mérséklése, a tájhasználati és vízgazdálkodási problémák kezelése éppen ezért a régió egyik legfontosabb megoldandó komplex környezeti problémája. A hatékony kezeléshez fontos az aktuális vízháztartási helyzeteket leíró, minél pontosabb és naprakészebb információk gyűjtése, a negatív hatások és a kockázatok minél jobb megismerése és számszerűsítése, melyek a hatékony beavatkozások tervezését alapozhatják meg. Elengedhetetlen a vízkészletek és a vízkormányzás (kis)vízgyűjtő szintű tervezése, valamint fontos a tervezésben és a megvalósításban érintett szereplők hatékony együttműködése.

A kötet háttérét adó projekt és a fejlesztések elsősorban a bemutatott problémák kezeléséhez és a hatékonyabb vízgazdálkodás tervezéséhez igyekeznek hozzájárulni: az aszály és belvíz kialakulásának nyomon követését segítő regionális monitoring módszerek kidolgozásával és információk gyűjtésével (2. 3. és 4. fejezet), a kockázatok és okozott károk értékelésével (5. és 6. fejezet), valamint a csatornahálózat üzemirányítási rendszerének újragondolásával, melyek a korábbinál részletesebb és pontosabb adatokon alapulnak. A csatornák üzemirányítási rendszerének fejlesztési lehetőségeinek kidolgozásához két mintaterületen, a Curug-Zabalj (Szerbia, 7. fejezet) és a Dong-ér vízgyűjtőjén (Magyarország, 8. fejezet) történtek részletes vizsgálatok (1.1 ábra).

2. Belvíz elöntések nagy pontosságú térképezése és monitorozása

Tobak Zalán, van Leeuwen Boudewijn, Kovács Ferenc, Szatmári József

Bevezetés

Csapadékos periódusokban a lefolyástalan területeken a beszivárgás és a párolgás által el nem vezetett fölösleges vízmennyiség, illetve a magasabb területekről a felszín alatti lefolyás által táplált talajvíz a felszínen sekély elöntések formájában megjelenik. Ez az időszakosan előforduló vízborítás, belvívelöntés (inland excess water) a Kárpát-medence alföldi területein komoly gazdasági, környezeti és szociális problémák forrása.

A belvívelöntések térképezése 3 okból kifolyólag is nagyon fontos: (1) segít megérteni a belvíz kialakulását elősegítő tényezők kapcsolatát, (2) az elöntések helyének és méretének ismeretében lehetővé válik a vízelvezetési és a további károk megelőzését célzó operatív tevékenység, valamint (3) előre jelezhetővé válik a jövőbeli elöntések helye, mérete és kiterjedése, ami a megelőzési folyamatokhoz nyújthat támogatást (Szatmári és van Leeuwen, 2013).

Az elöntések térképezésére és monitoringjára 4 általános megközelítést alkalmaznak: (1) a terepi felvételezés rendkívül időigényes, hibákkal terhelt, drága és az eredmény térképek gyakran pontatlanok. (2) A belvíz kialakulásában szerepet játszó tényezők földrajzi információs rendszerbe (GIS) integrálásával veszélyeztetettségi térképek készíthetők ugyan, de az aktuális elöntések ezzel a módszerrel nem adhatók meg (Pálfai, 2003; Bozán et al., 2005; Bozán et al., 2009; Pásztor et al., 2014). (3) A belvízképződés hidrológiai folyamatát leíró komplex modellek nagy mennyiségű input adatot igényelnek, regionális léptékben ezért hatékonyan már nem alkalmazhatók. (4) A műholdas vagy légi távérzékeléssel gyűjtött adatok nagy területről, jól automatizálható feldolgozási és kiértékelési műveletsorral szolgáltatnak információt, így optimális megoldást kínálnak a belvívelöntések regionális szintű, operatív térképezésére. Ez utóbbi megközelítésen belül az elmúlt 30 évben több kutatást végeztek légifelvételek (Liczkó et al., 1987; Rakonczai et al., 2003; van Leeuwen et al., 2012), multispektrális műholdképek (Csornai et al., 2000; Rakonczai et al., 2001; Mucsi and Henits, 2010; van Leeuwen et al., 2013) és hiperspektrális adatok (Csendes and Mucsi, 2016) felhasználásával. A passzív, optikai szenzorok mellett megszülettek az első tapasztalatok az aktív, radar adatok alkalmazhatóságáról is (Csornai et al., 2000; Csekő, 2003; Gálya et al., 2016; Gulácsi és Kovács, 2019).

A műholdfelvételek operatív alkalmazását nagyban elősegítette a megfelelő térbeli felbontású (min. 10-30 m), szabadon hozzáférhető és egyre jobb visszatérési idővel rendelkező földmegfigyelő műhold rendszerek kiépülése. Az Európai Űrügynökség (ESA) Copernicus programjának keretében 2014-től indított Sentinel műholdcsalád változatos alkalmazási területek igényeit szolgálja, többek között multispektrális és

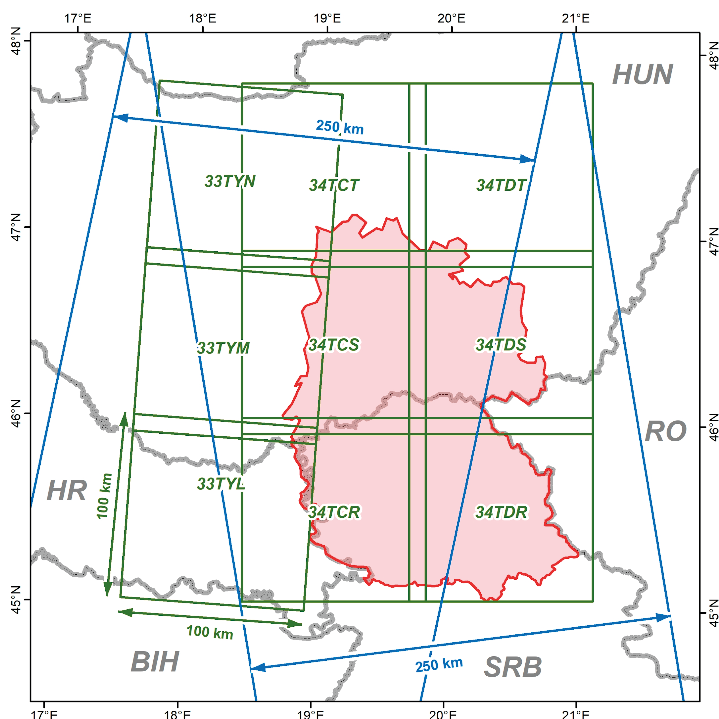
radar felvételek formájában (Malenovský et al., 2012). A Sentinel 1A és 1B műholdak aktív szenzorai időjárási körülményektől függetlenül radar, a Sentinel 2A és 2B műholdak pedig multispektrális adatokat szolgáltatnak heti 2-3 alkalommal.

A Water@Risk projekt keretében kifejlesztett munkafolyamat Sentinel 1 és Sentinel 2 műholdfelvételeket felhasználva képes operatív módon regionális léptékű, heti gyakoriságú belvíz elöntési térképek előállítására.

Mintaterület és adat

A Water@Risk projekt mintaterülete Magyarország 2 dél-alföldi megyéjére (Bács-kiskun és Csongrád), valamint Szerbia Vajdaság tartományára terjed ki. A térség domborzati viszonyai, az alacsony relief, éghajlati adottságai és talajainak karakterisztikája mind kedveznek a belvíz kialakulásának. A terület nagy része mezőgazdasági művelés alatt áll, így a gazdasági károk mértéke sokszor jelentős.

A teljes mintaterületet (kb. 27000 km²) 3 felszálló és 2 leszálló Sentinel 1 pászta és 9 db Sentinel 2 csempe fedi le (2.1. ábra).



2.1. ábra Sentinel 1 pászták (kék) és Sentinel 2 csempék (zöld) a mintaterületen

A belvíz elöntési térképek Sentinel 1 és Sentinel 2 műholdak adatai alapján készülnek.

Sentinel 1

A radar alapú feldolgozási részfolyamat Sentinel 1A és 1B felvételeket használ fel. A két műhold a mintaterületről kb. minden harmadik napon teljes lefedést ad, mindent a C-sávú aktív távérzékelési technológiának köszönhetően napszaktól és időjárási körülményektől függetlenül. Az ESA szervereiről szabadon letölthető Level-1GRD termékek képezik a bemeneti adatot. A szenzor ún. Interferometric Wide (IW) módban a felszín 250 km széles sávjában 20x10 m térbeli felbontású felvételt állít elő (Malenovský et al., 2012). Az adatcsomagok a függőleges-függőleges (VV) és függőleges-vízszintes (VH) polarizációjú réteget egyaránt tartalmazzák, melyek mind felhasználásra kerültek a radaros munkafolyamatban. Jelen vizsgálat során a 2018. március 26 – április 1. (13. hét) és 2018. április 2 – 8. (14. hét) között készült Sentinel 1 adatokat használtuk fel (2.1. táblázat)

2.1. táblázat A felhasznált adatok összefoglaló paraméterei

Adatforrás	Dátum (termékek száma)	Térbeli felbontás / Területi lefedés / Méretarány	Spektrális felbontás / Tematika
Sentinel 1			
13. hét	2018.03.28. (3) 2018.03.29. (5) 2018.03.30. (4) 2018.03.31. (3)	20x10 m / 250 km szélesség	C-sáv (5,405 GHz)
14. hét	2018.04.03. (2) 2018.04.04. (5) 2018.04.05. (2) 2018.04.06. (3)		
Sentinel 2			
13. hét	2018.03.28. 2018.03.31.	B2: 10m B3: 10m B4: 10m B5: 20m B6: 20m B7: 20m B8: 10m	B2: 492,4 / 492,1 nm B3: 559,8 / 559,0 nm B4: 664,6 / 664,9 nm B5: 704,1 / 703,8 nm B6: 740,5 / 739,1 nm B7: 782,8 / 779,7 nm
14. hét	2018.04.02. 2018.04.03. 2018.04.05. 2018.04.08.	B8A: 20m B11: 20m B12: 20m 100x100 km csempék	B8: 832,8 / 832,9 nm B8A: 864,7 / 864,0 nm B11: 1613,7 / 1610,4 nm B12: 2202,4 / 2185,7 nm

Adatforrás	Dátum (termékek száma)	Térbeli felbontás / Területi lefedés / Méretarány	Spektrális felbontás / Tematika
Légifelvétel	2018.03.28.	10 cm / 20 km²	valós színes (RGB)
CORINE Land Cover	1998 / 2018	1:50000 / 1:100000	állandó vizek / vízenyős területek / mesterséges felszínek
High Resolution Layers	2009-2015	20 m	állandó és időszakos vizek és vízenyős területek
Google Earth (GeoEye / Pleiades)	2017-2018	0,41 / 0,5 m	valós színes (RGB)
OpenStreetMap	változó	-	városi területek, utak, vasutak, állandó vizek

Sentinel 2

A Sentinel 2A és 2B műholdak 5 napos visszatérési idővel szolgáltatnak multispektrális felvételeket. A látható (VIS), közeli infravörös (NIR) és rövidhullámú infravörös (SWIR) tartományban összesen 13 sáv áll rendelkezésre, melyek térbeli felbontása 10-20-60 m (2.1. táblázat). Az ESA szervereiről 100x100 km kiterjedésű csempék formájában szabadon letölthető Level-2A termékek már az atmoszféra zavaró hatásaitól mentes, felszíni reflektancia értékeket tárolnak. Az optikai adatokon alapuló munkafolyamatokban ezen adatcsomag 10 sávját (B2-B3-B4-B5-B6-B7-B8-B8A-B11-B12) és a felhőborítási információkat is tartalmazó ún. scene-classification réteget használtuk fel. Jelen kutatás keretében a 2018. március 28-án és 31-én, illetve április 2-án, 3-án, 5-én és 8-án készült Sentinel 2 felvételeket dolgoztuk fel (2.1. táblázat).

Kiegészítő adatok

Mind a radar, mind az optikai felvételeken alapuló munkafolyamat igényel kiegészítő adatokat. Ezek egyrészt referenciaként az algoritmusok tanításában játszanak szerepet, másrészt pontosítják a eredményül kapott belvizek térképét azon területek kimaszkolásával, amelyeken belvíz – definíció szerint – nem fordulhat elő. A referencia állományt alkotó nyílt vízfelületek az 1:50000 és 1:100000 méretarányú CORINE Land Cover, valamint a pán-európai nagyfelbontású rétegek (High Resolution Layers – HRS) állandó víz felületeiből származnak (Büttner et al., 2014), melyek a Google Earth nagyfelbontású felvételei segítségével aktualizálásra és pontosításra kerültek (2.1. táblázat). A maszk állomány városi területeket, a mezőgazdasági térségek mesterséges felszíneit, utakat, vasútvonalakat, tavakat, folyókat – és ez utóbbiak töltései által határolt ártereket –, valamint vizes élőhelyeket tartalmaz, melyek CORINE és OpenStreetMap adatbázisokból kerültek kinyerésre. A Sentinel

2 felvételekről a feldolgozás elején kizárásra kerültek továbbá a felhő maszk rétege alapján körülhatárolt felhős vagy felhő árnyékkal fedett területek.

Légifelvételek

Az eredmények validálásához légi távérzékelési adatokat gyűjtöttünk. Ehhez Cessna 172 típusú kisrepülőgépen, illetve eBee X merevszárnyú drónon elhelyezett szenzorok álltak rendelkezésünkre: 60 MP felbontású PhaseOne P65+, illetve 20 MP-es senseFly S.O.D.A. RGB kamerák, valamint 1,2 MP felbontású Parrot Sequoia+ multispektrális szenzor. A légifelvételezést a teljes mintaterület egy Szentestől ÉK-re kiválasztott, kb. 20 km²-es részén végeztük el 2018. március 28-án, 10 cm térbeli felbontással. Az egyedi képekből ortofotó mozaik készült.

Módszer

A bemutatott belvizek elöntés térképezési módszertan előfeldolgozási és feldolgozási lépésekből áll. Utóbbi csoporton belül elkülönül egymástól egy radar és két multispektrális felvételekre épülő algoritmus, melyek eredményeiből egy integrációs lépésben elkészül a bináris elöntési térkép. A jól automatizálható, ezáltal operatív módon alkalmazható módszer nem kategorizálja tematikusan a különböző típusú belvizeket, azonban heti gyakorisággal és közepes felbontásban (10 m) szolgáltat elöntési információkat.

Előfeldolgozás

Az előfeldolgozás során automatizált módon – OpenSearch API-t és OpenData API-t használva – megtörténik a Sentinel 1 GRD, illetve Sentinel 2 L2A termékek mintaterületet érintő részleteinek letöltése az ESA szervereiről.

A Sentinel 1 radar felvételek komplex geometriai és radiometria előfeldolgozást igényelnek, amely magában foglalja a radiometria kalibrációt, a zajszűrést, a felszíni domborzat és az oldalra néző felvételezési geometriából származó torzulások korrekcióját, valamint az ún. helyi beesési szög korrigálást (van Leeuwen et al. 2017). Az így kapott raszteres állományok 10x10 m pixelei a felszínről visszaszórt radar jel dB értékeit tárolják.

A Sentinel 2 optikai adatai már részben előfeldolgozott formában (Level2A), felszíni reflektanciát tárolva kerülnek letöltésre. A 13 felvételi sávból 10 sáv került kinyerésre, majd átmintázásra egységesen 10 m felbontásra. A különböző típusú felhőzet, illetve felhőárnyék által kitakart területeket minden műholdképen kimaszkoltuk. Ehhez az ún. scene classification réteget használtuk fel, melyet a letöltött adatcsomag tartalmazott.

A feldolgozást mindkét adatforrás esetében csak a belvíz által veszélyeztetett területekre (Pálfai, 2003) szűkítettük le.

A műholdképek előfeldolgozása az ESA SNAP (Sentinel Application Platform) szoftverében, modellek futtatásával valósult meg.

Feldolgozás

Radar adatok küszöbérték alapú kiértékelése

A nyílt vízfelületeket ábrázoló referencia réteg alapján a VV és VH sávokból kinyerésre kerültek a vízborítású térszínek alapstatisztikái (dB értékek minimuma, maximuma, átlaga, szórása). Ezt felhasználva történt meg nyílt vizeket kijelölő küszöbértékek definiálása. Mivel a radar jelek visszaverődése a vízfelületről – hullámszám, örvénylést nem feltételezve – alacsonyabb, mint más felszínekről, ezért a küszöbérték alatti képelemeken feltételezhetően vízborítás van jelen.

Multispektrális adatok automatikus osztályozása

A Sentinel 2 felvételeken ISODATA osztályozást hajtottunk végre, melynek eredmény osztályait a referencia területek átlag spektrumával vetettük össze. A spektrális hasonlóságot a 10 felvételi sáv által kijelölt 10 dimenziós térben mért szögeltérés alapján számszerűsítettük (Kruse et al., 1993), majd az osztályokat sorba rendeztük és közülük a legkisebb eltérést – azaz legnagyobb hasonlóságot – mutatókat vízborítású címkével láttuk el. Eredményül ez esetben is bináris (van vízborítás | nincs vízborítás) előntési térképet kaptunk.

Spektrális index számítás

A multispektrális felvételek alapján MNDWI (Modified Normalized Differential Water Index) kalkulációt végeztünk, melyhez a látható zöld (B3) és egy rövidhullámú infravörös (B11) sávot használtunk fel (1. és 2. egyenlet) (Xu, 2005). Az index térképen a referencia területekre számított index értékek alap statisztikái segítségével küszöbértéket definiáltunk, amely alkalmas volt a vízzel borított területek lehatárolására. Az eredmény ebben a rész munkafolyamatban is bináris előntési térkép.

$$MNDWI = \frac{\rho_{green} - \rho_{SWIR}}{\rho_{green} + \rho_{SWIR}} \quad (Eq. 1)$$

ami a Sentinel 2 sávjait felhasználva az alábbiak szerint alakul:

$$MNDWI_{Sentinel-2} = (3^{rd} \text{ sáv} - 11^{th} \text{ sáv}) / (3^{rd} \text{ sáv} + 11^{th} \text{ sáv}) \quad (Eq. 2)$$

Integráció

A radaros, valamint a multispektrális rész munkafolyamatok bináris eredmény térképeit utolsó lépésben integráltuk. E térképek számát a vizsgált időintervallumon, egy-egy héten belül elérhető és feldolgozható műholdfelvételek száma határozza meg. Az integrált elöntési térképekhez így megbízhatósági paraméter is csatolható, megadva, hogy egy adott képelemen az összes elérhető input adat és feldolgozási rész munkafolyamat milyen arányban jelzett vízborítást.

Validálás

Az integrált elöntési térképek validáláshoz légi adatgyűjtésből kinyert belvíz foltokat használtunk fel. A közel 20 km²-es területen keresztábla módszerrel értékeltük az in-situ megfigyelt és a feldolgozási lépéssor által prediktált vízborítás kapcsolatát.

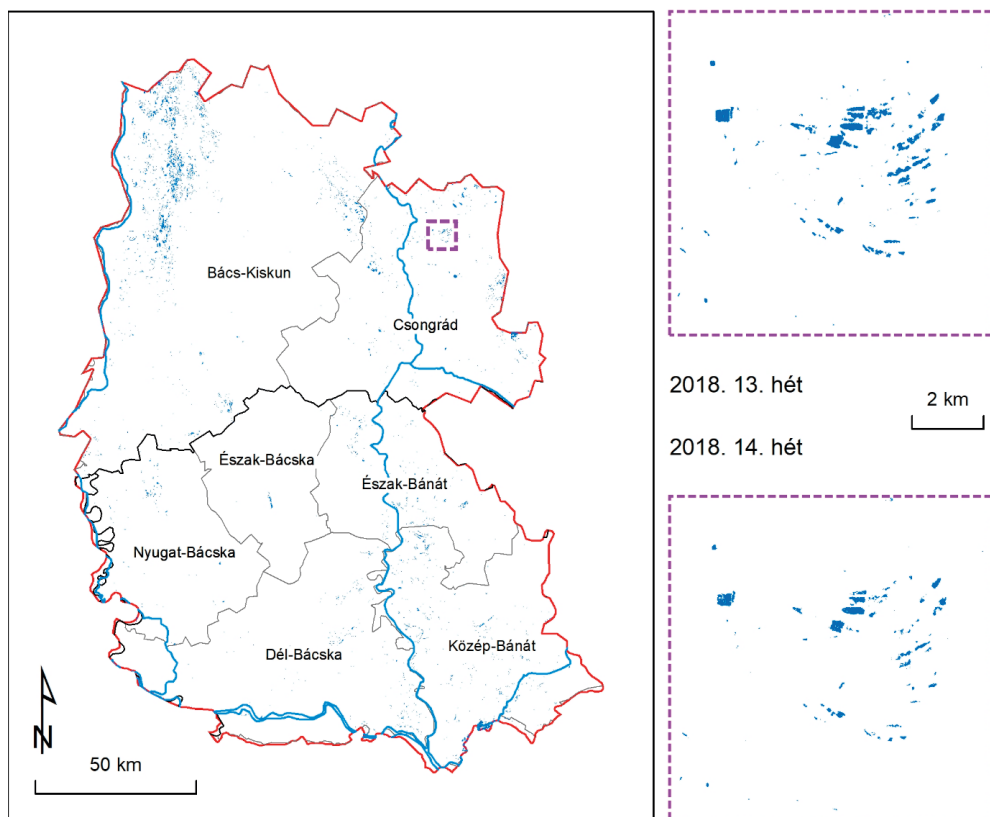
Eredmények

Belvíz elöntési térképek

2018 tavaszán a mintaterületen jelentős belvízelöntés volt. Az alábbiakban 2 kiválasztott hét (13. hét: 2018. március 29 – április 1 / 14. hét: 2018. április 2 – 8.) Sentinel felvételei alapján generált elöntési térképeket mutatjuk be (2.2. ábra). A 13. héten összesen 42 (15+27), a 14. héten pedig 33 (12+21) termék került feldolgozásra.

Az eredmények megbízhatóságának növelése érdekében csak azokat a képelemeket tekintettük vízzel borítottak, melyeken a feldolgozó algoritmusok az elérhető felvételek legalább 40%-ában elöntést jeleztek.

A teljes területen 17800, illetve 10990 ha vízborítást detektáltunk. A leginkább érintett részek Bács-Kiskun megye ÉNy-i fele – ahol döntően természetes vizes élőhelyek kerültek detektálásra -, valamint a Tisza mente Magyarországon és Szerbiában egyaránt, ahol főként szántóföldi művelést veszélyeztetett a belvízelöntés. Időben megfigyelhető, hogy a 14. hétre kis mértékben csökkent az elöntött területek kiterjedése (2.2. ábra).



2.2. ábra Belvívelőntés a mintaterületen 2018. március végén / április elején

Validálás

A módszer validálásához felhasznált referencia adatok 2018. március 28-án (13. hét) végzett légifelvételéből származnak. A keresztátlából kiolvasható értékek alapján a munkafolyamat által jelölt elöntések 93,6%-ban valós belvívzfoltokat jelölnek (user accuracy, true positive), a felülbecslés mértéke mindössze 6,4% (commission error, false positive) (2.2. táblázat). Meg kell azonban említeni, hogy – elsősorban a bemeneti adatok és a terepi felvételzés eltérő felbontása, valamint a referencia térkép létrehozásának szubjektív tényezői miatt – a referencia belvívzfoltoknak csak 5,4%-át sikerült az eredmény rétegen megjeleníteni. Az alulbecslés (omission error, false negative) mértéke tehát igen jelentős.

2.2. táblázat A belvítérkép validálásának eredménye a 13. heti felmérések alapján

13w	Producer Accuracy: 5,42			User Accuracy: 93,58		
	Alulbecslés: 94,58			Felülbecslés: 6,42		
	Referencia			Referencia		
Detektált		nyílt belvíz	egyéb belvíz	nincs víz		
	nincs víz	94,55	99,97	98,58	nincs víz	6,88 3,39 89,72
	belvíz	5,42	0	0,03	belvíz	93,58 0 6,42
	maszk	0,03	0,03	1,39	maszk	0 0 0

Diszkusszió és következtetések

A kifejlesztett belvizeleöntés detektáló módszertan radar és optikai, multispektrális műholdfelvételeket feldolgozva szolgáltat heti rendszerességgel elöntési információkat. A munkafolyamat minden lépésében automatizálható, így alkalmas operatív felhasználásra is.

A módszer limitációi elsősorban a bemeneti adatok jellegzetességeire vezethetők vissza: (1) az eredmény térkép térbeli felbontása természetesen nem haladja meg a bemeneti adatok felbontását (max. 10 m), így reálisan csak az ezt kb. egy nagyságrenddel meghaladó kiterjedésű foltok azonosítása biztosított. (2) Az optikai adatok esetén a felhőborítás éppen a belvizes időszakokban a legnagyobb, így gyakran adathiány akadályozza a teljes területi lefedést. (3) A visszavert radar jelek erőssége nagy szórást mutathat a különböző érdességű – hullámzó vagy sima – vízfelületek esetében, így az alkalmazott küszöbértékek pontos definiálása nehezen kivitelezhető. A felszínborítás és a talajtípus szintén jelentősen befolyásolja a rajta kialakult belvíz folt radar jelének intenzitását.

A módszer nem tesz különbséget a száraz talaj, a nyílt belvíz, a vízben álló növényzet és a vízzel telített talaj között, a bináris eredmény térképen csak nyílt vízfelület és száraz talajfelszín kategóriák jelennek meg. A vízben álló növényzet és a telített talajok azonosításához további input adatokra lenne szükség, melyek beépítése az erőforrásigény mellett korlátozhatja a munkafolyamat automatizálhatóságát is.

További fejlesztést igényel a radar feldolgozási eljárás küszöbértékeinek finomítása és kalibrálása különböző felszínborítású, illetve talajú területeken. A multispektrális

felvételek felhő maszkjának pontosítása szintén sok kihívást tartogat. Ezek jövőbeli megvalósulásával a belvizes területek felülbecslése tovább csökkenthető.

A validálási módszertan fejlesztése is szükséges: szorgalmazni kell a műholdfelvételek készítésével megegyező napon történő terepi és légi adatgyűjtést, illetve a légifelvételek interpretálásának egységesítését.

A kifejlesztett eljárás segítségével lehetővé válik a rendszeres, nagy kiterjedésű – regionális vagy akár országos léptékű – belvíz elöntés térképezés, amely az automatizálás eredményeként már alkalmas operatív felhasználásra.

Összegzés

A korábbi belvíz térképezési eljárások egy adott időpont terepi felméréseire, esetleg légi vagy műholdfelvételeire épültek. A projekt keretében kifejlesztett módszer ugyanakkor alkalmas a folyamatos, nagy kiterjedésű és operatív célú belvízelöntés detektálásra. Az elmúlt években elérhetővé vált radar és optikai műholdfelvételek felbontásukkal egyre jobban közelítik a belvíz jelenség tér- és időbeli léptékét, kínálva ezáltal új lehetőségeket és egyben kihívásokat is. Az automatizált munkafolyamat eredmény térképei a nemzeti vízügyi hatóságok kárenyhítési munkálatait támogatják, a mai napig alkalmazott terepi felmérések eredményeit kiegészíthetik, illetve pontosíthatják.

Köszönetnyilvánítás:

A kutatást a WATERatRISK (HUSRB/1602/11/0057) és az NKFIH 124648K azonosítójú projektek támogatták.

3. Talajnedvességen alapuló aszálymonitoring távérzékelés és terepi adatok alapján

van Leeuwen, Boudewijn; Barta Károly; Ladányi Zsuzsanna; Blanka Viktória, Sipos György

Bevezető

Az aszályt egy olyan tartós légköri jelenségeként tartjuk számon, melyet az átlagosnál lényegesen kevesebb csapadékkal és/vagy az átlagosnál lényegesen magasabb hőmérséklettel jellemezhetünk, s ezek következtében jelentős és tartós vízhiány alakul ki (WMO, GWP, 2016). Számszerűsítésére számos indexet dolgoztak ki (pl. Palmer, 1965; Pálfi, 2004, Balint et al., 2011, Zargar et al, 2011), melyek jobbára csak a klasszikus meteorológiai paraméterekkel (csapadék, hőmérséklet stb.) operálnak, és nem veszik figyelembe azt, hogy adott meteorológiai szituációban az aszály súlyosságát jelentősen befolyásolja a talaj nedvességi állapota is. Az indexek egy része ezt a vizsgált időszakot megelőző csapadékmennyiségek segítségével próbálja indirekt módon beépíteni a jellemzésbe, mint például a Magyarországon legszélesebb körben elterjedt Pálfi-féle aszályindex is (Pálfi, 2004). Más indexek már számolnak a talajnedvességgel, sokszor azonban nem közvetlen terepi mérések alapján, hanem szimulált értékek segítségével (pl. Narasimhan és Srinivasan, 2005). A talajnedvesség szerepe ugyanakkor nemcsak az aszály mértékének regionális módosításában jelentkezik, hanem egy adott területen (ország, régió, táj) belül a különböző talajtípusok függvényében a térbeli differenciálásában is. Magyarországi és szerbiai példaként említhető, hogy a Duna és a Tisza közötti homokterületeken ugyanaz a meteorológiai szituáció lényegesen súlyosabb aszályt okoz, mint a Tiszától keletre fekvő csernozjom típusú talajokon. Magyarországon az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) szimuláción alapuló talajnedvesség-becsléséből a felső 1 m-es talajrétegre számolható vízhiány (Chen és Dudhia, 2001; Horváth et al., 2015, OMSZ 2019a).

A talajnedvesség terepi mérésére számos lehetőség kínálkozik, mind a hazai, mind a nemzetközi gyakorlatban legelterjedtebbek a dielektromos állandó mérésén alapuló módszerek, azok közül is a TDR-technikára (Time Domain Reflectometry) épülő térfogati nedvességtartalom-mérések (Kirkham, 2014). Egy korábbi projekt keretében (WAHASTRAT, HUSRB/1203/121/130; 2013-2014) a Dél-Alföldön és a Vajdaságban összesen 16 db olyan meteorológiai mérőállomást telepítettünk, melyek részeként hat különböző mélységben (10, 20, 30, 45, 60 és 75 cm) talajnedvesség-mérések is folynak (Barta et al., 2014). Ezt az állomáshálózatot 2016-ban követte egy országos lefedettségű, folyamatosan bővülő meteorológiai és talajnedvesség-monitoringrendszer (Fiala et al., 2018), melyet az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF) üzemeltet. Az állomások száma 2019 nyarára elérte a 47-et (OVF Aszálymonitoring 2019).

A horizontálisan és vertikálisan is kiterjedt monitoring ellenére az aktuális talajnedvesség országos léptékű térképének elkészítése továbbra is komoly kihívást jelent a szakembereknek, ugyanis a pontszerű mérési adatok térbeli kiterjesztése a talajnedvesség esetében számos nehézségbe ütközik. A teljesség igénye nélkül meg kell említeni a talajok hidrofizikai tulajdonságainak (pl. kötöttség, vízáteresztő képesség, tömörödöttség) térbeli változatosságát, a makro- és mikrodomborzat szerepét a nedvességvizonyok alakulásában és a mozaikos területhasznosítás, felszínfedettség befolyásoló hatását. Ráadásul a fixen telepített monitoring állomások területén nem tartható fenn pl. a szántóföldi művelés, így a felszínborítottsági különbségek és a talajművelés hiánya megkérdőjelezi az állomások talajnedvesség-adatainak reprezentativitását. A rendkívül összetett feladat megoldására a térben folytonos adatot szolgáltatató távérzékelési módszerek jelenthetik a megoldást. A műholdas távérzékelés lehetővé teszi olyan algoritmusok kifejlesztését és alkalmazását, amelyek a Föld felszínének nagy területeiről képesek egységes módszeren alapuló információt szolgáltatni. A talaj nedvességtartalmának becslése műholdas adatok segítségével olyan kihívást jelent, amellyel az elmúlt harminc évben részletesen foglalkoztak a szakemberek (Srivastava et al., 2016). A talaj nedvességtartalmának becslésére optikai, termális infravörös és mikrohullámú szenzorok segítségével nyert adatokon alapuló megközelítéseket alkalmaztak nagy területeken. Barret és Petropoulos részletesen tárgyalják ezeket a megközelítéseket (2014). Napjainkban a legtöbb módszer, amely műholdas adatok segítségével kívánja a talaj nedvességtartalmát meghatározni, mikrohullámú adatokon alapul. A Sentinel 1 radar műholdak üzembe helyezésével különösen ígéretes irányra vált ez. Sajnos azonban egyelőre nem áll rendelkezésre a középestől a magas felbontásig terjedő adatokat szolgáltató termék a talajnedvesség becslésére, éppen ezért a kutatás során egy optikai-termális infravörös megközelítést alkalmazunk.

A talaj nedvességtartalmának nagy térbeli és időbeli heterogenitása miatt nehéz pontos becsléseket készíteni nagy területekre. A pontmérések relatíve kis területek esetében reprezentatívak, míg a műholdas alapú mérések nagy területre vonatkozó méréseket integrálnak és egy pixelben tárolják az eredményeket. A műholdas alapú mérések kalibrálása és validálása terepi mérésekkel éppen ezért nehéz feladat.

Kutatásunkban a cél az, hogy folyamatosan biztosítsunk műholdas alapú talajnedvesség adatokat a projekt célterületre (Csongrád és Bács-Kiskun megye Magyarországon, Vajdaság tartomány Szerbiában). Annak érdekében, hogy az így kapott talajnedvesség indexet (SMI) át tudjuk alakítani talajnedvesség-tartalommá (SMC) térfogat%-ban (térfogati nedvességtartalom, ezt általában a talajtanban használják), a műholdas alapú SMI térképeket megpróbáltuk terepi talajnedvesség-tartalom mérésekkel kalibrálni. Ez a fejezet a kutatási módszereket és a projekt során nyert tapasztalatokat mutatja be.

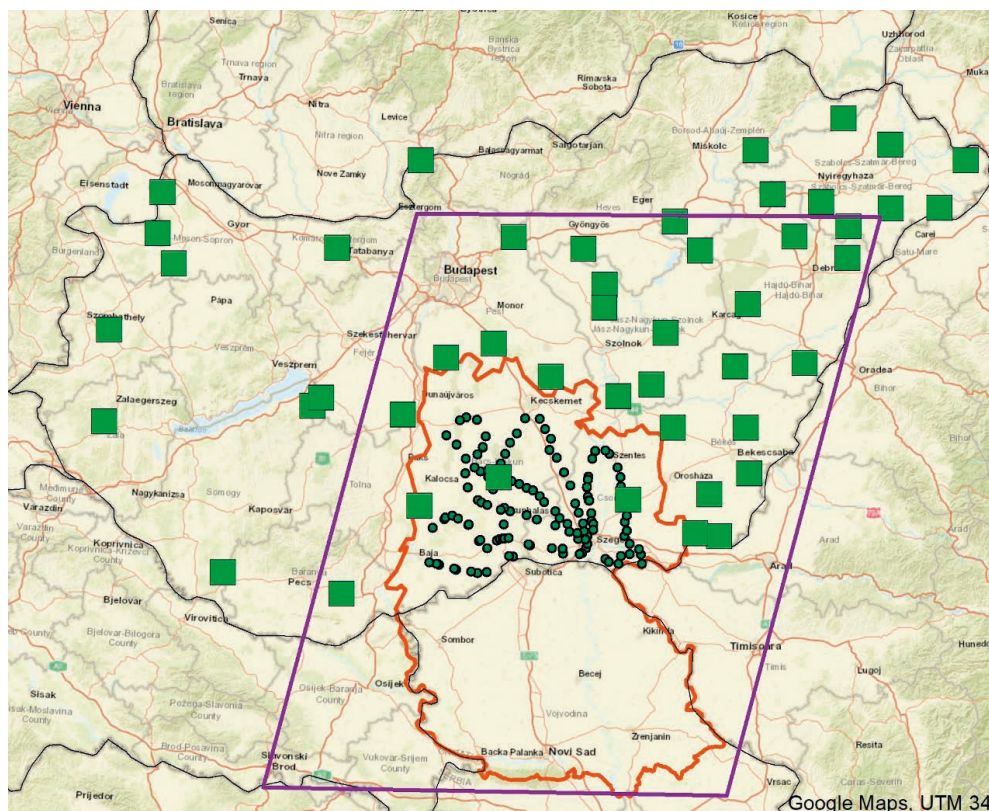
réteget kinyerjük a MOD 11 termékből. A további feldolgozás során csak a jó minőségű pixeleket használjuk. Minden egyes vegetációs osztály esetében kinyerjük a minimum és maximum hőmérsékleteket, és az osztályon belül a földfelszín hőmérséklet és a talajnedvesség-tartalom index közötti lineáris kapcsolat az (1) segítségével kerül meghatározásra.

$$SMI_{i,c} = \frac{LST_{c,min} - LST}{LST_{c,max} - LST_{c,min}} + 1 \quad (1)$$

ahol $SMI_{i,c}$ a c osztályban található i pixel talajnedvesség indexe. Ilyen módon 10 SMI térképet hozunk létre, megadva mindegyik vegetációs osztály talajnedvesség indexét. A különböző SMI térképek egyesítésével megkapjuk a teljes tanulmányozott terület SMI térképét. Ez az összesített térkép 0 (minimum talajnedvesség-tartalom) és 1 (maximum talajnedvesség-tartalom) közötti index értékeket tartalmaz. Az SMI térképek csak akkor hozhatók létre, ha elegendő mennyiségű pixel áll rendelkezésre mind a vegetációs mind a földfelszín adatok esetében, és ha valamennyi vegetációs osztály meghatározásra került.

Az SMI térképek térfogat%-ban meghatározott talajnedvesség információvá alakításához az egyes térképeket földi mérésekkel kell kalibrálni. Két módszert alkalmaztunk az adatok kalibrálására. Az első módszer az Országos Vízügyi Igazgatóság által fenntartott talajnedvesség állomás hálózaton alapul (OVF Aszálymonitoring 2019). Ez a hálózat 47 2019 márciusában már állomásból állt, amelyek közül 27 található a vizsgált területen (3.2 ábra). Ezek az állomások mérik a talaj nedvességtartalmát és hőmérsékletét 6 különböző mélységben, emellett a levegő hőmérsékletét, relatív páratartalmát és lehullott csapadékmennyiséget. Az állomások óránkénti adatainak automatikus letöltését php és curl API biztosítja. A 2017. január 1. és 2019. március 30. közötti időszakra a 10cm-es mélységre vonatkozó talajnedvesség adatok letöltéséhez python szkriptet használtunk, amennyiben SMI térkép rendelkezésre állt, SMI térképekből kinyertük a mérőállomások földrajzi helyére vonatkozó talajnedvesség indexet és összehasonlítottuk a 11:00 UTC terepi mérésekkel, ami többé-kevésbé a MODIS műhold áthaladásának az időpontja. Ily módon minden egyes napra kiszámításra került a műholdas alapú mérések és a terepi mérések közötti determinációs együttható. Amennyiben a determinációs együttható nagyobb volt, mint 0,5, az eredeti SMI térképet kalibráltuk a terepi mérésekből származó meredekség és tengelymetszéspont alapján, hogy megkapjuk a végleges SMC térképet.

A talajnedvességi adatok kalibrálásának további módszere lehet a terepi mérések alkalmazása. Ehhez egy mérés sorozatot terveztünk, amely 2019. március 27-én zajlott le. Ezen a napon négy csapat indult útnak, hogy a területen 4 útvonal mentén mérvék a talaj nedvességtartalmát, hordozható FieldScout TDR350 talajnedvesség-mérő eszközök (3.3 ábra) segítségével, melyek közvetlenül térfogat%-ban határozzák meg a talaj felső 12 cm-es rétegének átlagos nedvességtartalmát, és beépített GPS-moduljuknak köszönhetően a mérési adatokhoz azonnal hozzárendelik a koordinátáikat is. Minden csapat körülbelül 35 helyen mérte a talaj nedvességtartalmát, csapatonként nagyjából 200km hosszúságú útvonal mentén (3.2 ábra).



- Merőállomások
- Terepi mérések
- Megye határ
- WATERatRISK projekt terület
- Műholdkép határ

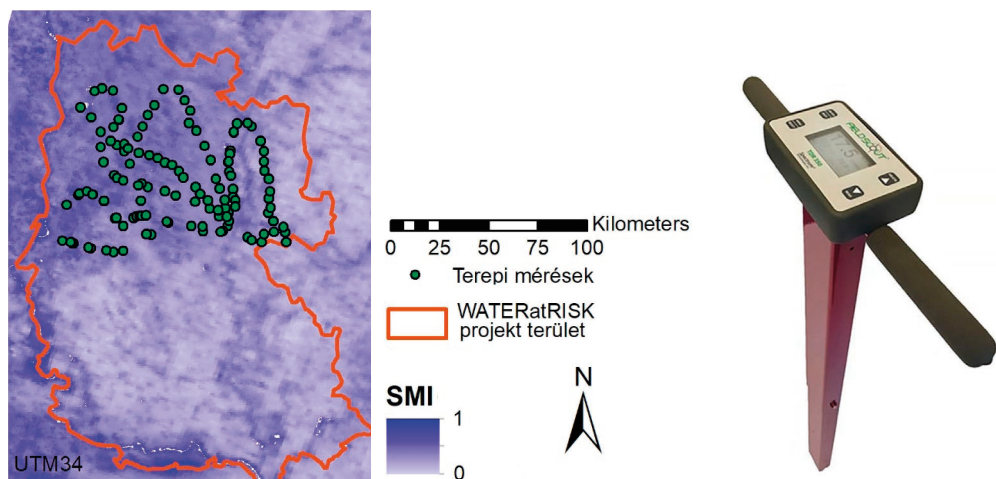


0 30 60 90 120 Kilometer

3.2 ábra A vizsgált terület, a talajnedvesség-mérő állomásokkal és a kutatás részét képező, 2019. március 27-ei terepi felmérés mérési pontjaival

A hordozható eszközök lehetővé tették, hogy a vizsgált mintaterület egyes részein jellemző területhasználat-, illetve talajtípus jól reprezentált legyen a mérési adatokban. A mérési pontok kiválasztásánál további fontos szempont volt, hogy olyan méretű parcellákon mérjünk, melyek legalább egy teljes pixelt lefednek a távérzékelte MODIS-felvételeken. Figyelembe véve a képek 250 x 250 m-es felbontását, minimum 500 x 500 m-es parcellák kiválasztása volt a cél. Ezek legtöbbje szántó volt, de voltak közöttük legelők, gyümölcsösök (szőlő) és erdők is.

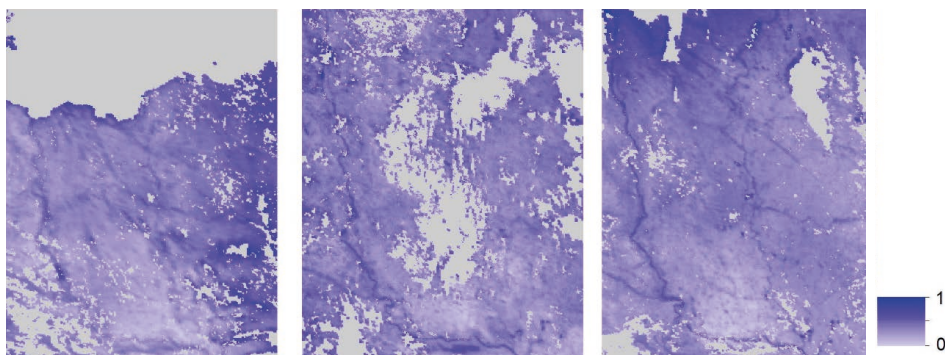
Ugyanazokra a pontokra, ahol a terepi mérések történtek, az adott napi SMI térképből kinyertük a talajnedvesség index adatokat (3.3 ábra). Ugyanezekre a pontokra kiszámítottuk a determinációs együtthatót is, hogy megállapítsuk milyen erős a kapcsolat a műhold alapján készült becslések és a terepi mérések között.



3.3 ábra A 2019. március. 27-ei terepi mérőssorozat pontjai, valamint a FieldScout TDR350 mérőeszköz

Eredmények

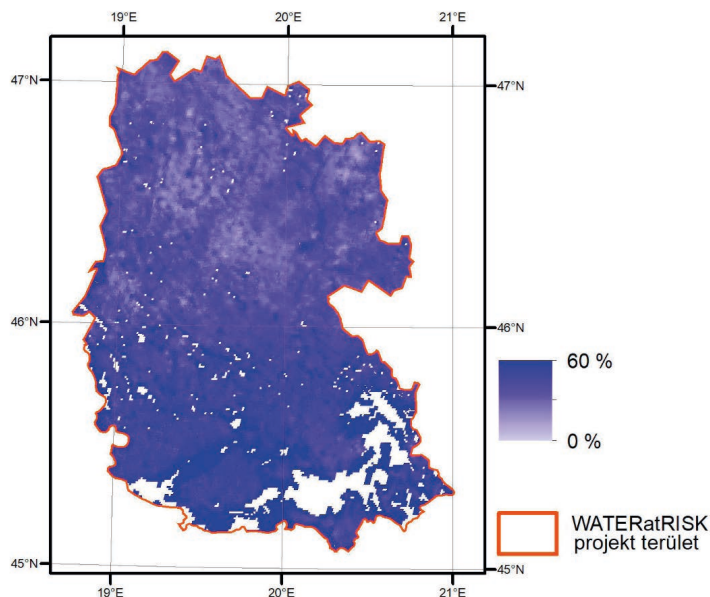
A műholdas adatok alapján elkészült talajnedvesség térképeket összehasonlítottuk a 27 talajnedvesség állomás 2017. január 1. és 2019. március 29. közötti időszakra vonatkozó adataival. A vizsgált 630 npra elő lehetett állítani a műholdas alapú SMI térképeket, de számos térkép felhős napon készült, ezért nagy területek maradtak SMI érték nélkül (3.4.ábra).



3.4 ábra Talajnedvesség index térképek eltérő mértékű hiányzó adattal (szürke részek) 2017. január 1. (baloldal), 2017. április 25. és 2018. november 12. (jobboldal)

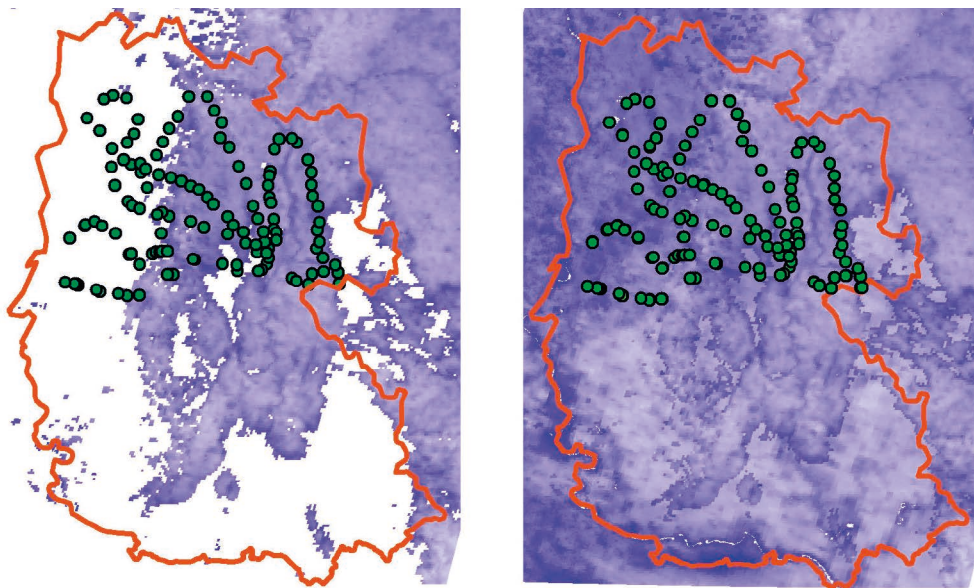
Annak érdekében, hogy meg tudjuk állapítani a kapcsolatot a terepi mérések és a műholdas adatok között, tapasztalataink alapján legalább négy pontra van szükség. Sok esetben nem lehetett ennek a követelménynek megfelelni, mivel a

mérőállomások olyan földrajzi helyen voltak, ahol nem állt rendelkezésre SMI adat. Összesen 440 napon (70%) lehetett meghatározni a regressziós egyenletet. További korlátozó tényezőt jelentett az, hogy sok esetben a determinációs együttható rendkívül alacsony volt. Éppen ezért úgy döntöttünk, hogy csak akkor használhatók a talajnedvesség állomásokon mért adatok az SMI térkép kalibrálására ha a kapcsolat pozitív és a determinációs együttható nagyobb, mint 0,5. Ennek eredményeképpen összesen 27 (ez a 630-napos időszak 7.5%-ka) SMI térképet kaptunk (3.5 ábra).



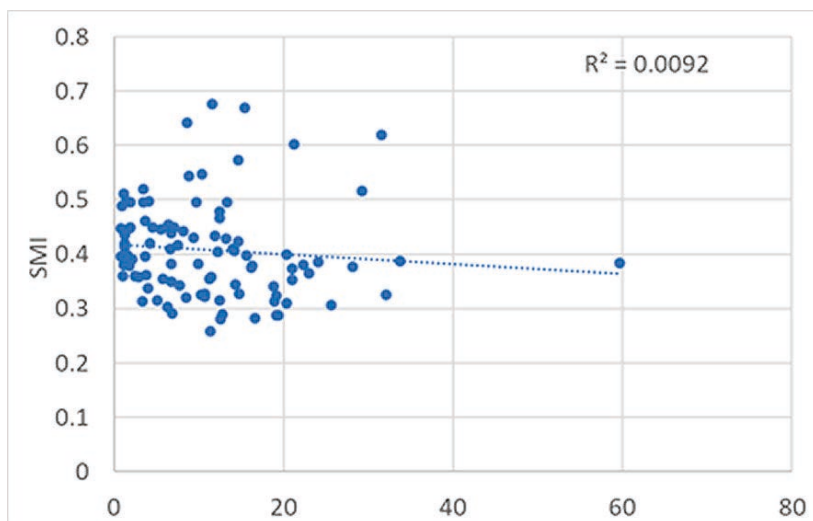
3.5 ábra Talajnedvesség térkép az OVF talajnedvesség-mérő állomásainak adataival kalibrálva, 2018. július 14-én

A 2019. március 27-ei talajnedvesség mérési kampány eredménye egy 136 mérési pontból származó in situ talajnedvesség adathalmaz lett. Ezeket az adatokat összehasonlítottuk a 2019. március 28-án készült műholdas SMI térképpel. Ez azért volt célszerű választás, mert a március 27-én a kép készítésének idején elég nagy volt a felhőborítás, így sok helyen nem volt rendelkezése álló adat. (3.6 ábra).



3.6 ábra Rendelkezésre álló adatok 2019. március 27-én és 2019. március 28-án

A terepi mérések koordinátái alapján kinyertük a ponthoz tartozó pixelből kinyertük az SMI adatokat. A kapott értékeket függvényen ábrázoltuk a terepen mért talajnedvesség-tartalom értékekkel, és kiszámítottuk a determinációs együtthatót (3.7 ábra). Sajnos az értékek között nem lehetett statisztikai kapcsolatot megállapítani. Számos kísérletet tettünk arra, hogy részhalmazokat alkossunk felszínborítás és talaj típus alapján, de a determinációs együttható akkor is 0-hoz közeli maradt.



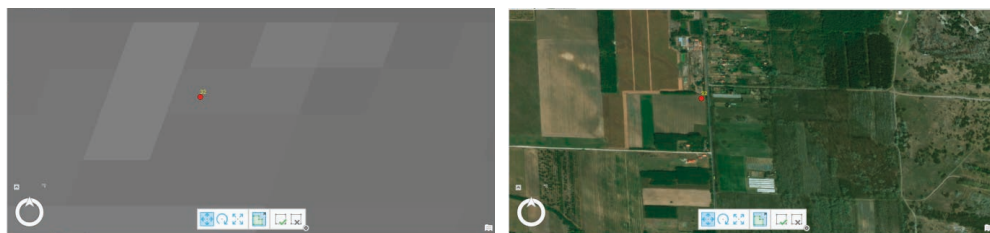
3.7 ábra A terepen mért talajnedvesség térfogat %-ban (vízszintes tengely) és a műholdas talajnedvesség index értékek (függőleges tengely) közötti kapcsolat

A műholdas távérzékelésen alapuló talajnedvesség index értékeket közvetve származtattuk optikai, közeli infravörös és termális adatokból, és egy értékke integráltuk egy teljes pixelhez. A terepi talajnedvesség-mérések viszont pont mérések, amelyek a mérési pont közvetlen környezetére jellemzőek. A két adathalmaz közötti korreláció hiányának fő oka az adatok térbeli léptékének nagy különbsége. Egy másik ok az lehet, hogy nehéz megállapítani, a műholdas kép melyik pixele jelenti a pont mérés helyszínéhez tartozó talajnedvesség-index értéket. A két adathalmazt egymásra fektetve azt látjuk, hogy a terepi mérési pont lehet két pixel határvonalán is (3.8. ábra balra fent). Amikor egy nagyon nagy felbontású műholdas képen vizsgáljuk a pont mérések elhelyezkedését, látható, hogy a pont valószínűleg a déli részen található nagy kiterjedésű parcellához tartozik (3.8. ábra jobbra fent). Ezt a problémát úgy oldottuk meg, hogy manuálisan abba a pixelbe helyeztük át ezeket a pontokat, ahol nagy eséllyel valóság közelebbi értéket kapunk (3.8. ábra balra lent és jobbra lent). Sajnos ez a manuális korrekció sem eredményezett jobb determinációs együtthatót.



3.8 ábra A terepi mérések manuális adaptálása az SMI érték kinyerésének javítása érdekében. Balra fent: pont mérés eredeti helye sárgával jelölve, az SMI térképen (szürkében). Jobbra fent: pont mérés eredeti helye egy nagyon nagy felbontású műholdképen. Balra lent: az eredeti mérési pontot (itt most kézzel jelölve) átraktuk a valóság értékét jobban tükröző helyére (sárgával jelölve). Jobbra lent: a pont új helye az SMI adaton

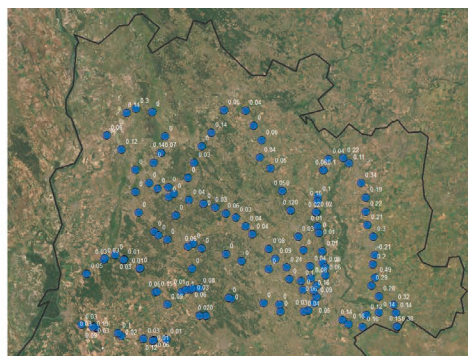
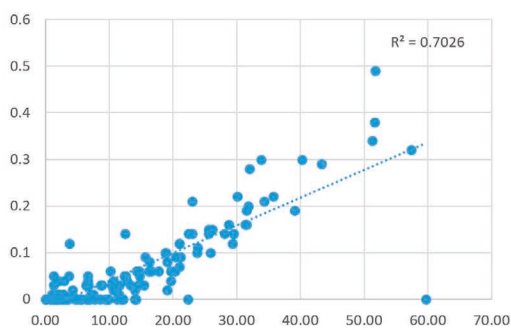
Egy másik hiba lehetőségre, a pont mérések hibás értékelésére látható példa a 3.9 ábrán. Az SMI fájlra ráhelyezett pont méréshez tartozó pixel egy értéket jelenít meg, de valójában a pixel egy integrált talajnedvesség-index értékből áll, amely nagyon eltérő földterület borítás típusok átlagolt értékét mutatja, pl. beépített terület, erdő és különböző mezőgazdasági művelés alatt álló területek (3.9. ábrán jobbra).



3.9 ábra *Példa a vegyes földterület használatra*

A földi interpretációra kiválasztott pontokkal szemben az egyik legfontosabb elvárás, hogy ténylegesen olyan homogén területhasználatú parcellán legyenek, melyek mérete mindkét irányban meghaladja a műholdkép térbeli felbontásának kétszeresét. Még ilyen homogén parcellán is problémát jelenthetnek a mikrodomborzat miatti hőmérséklet- és nedvességtartalombeli különbségek (3.8 ábra). Sajnos a mintaterületünkön mind az élénk reliefű homokterületeken, mind a Bácskai-löszöshát enyhén hullámos térszínének mélyedéseiben és dombhátain jelentős eltérések vannak a humusztartalomban (színben) és a nedvességtartalomban. A bemutatott mérési kampányban további hibaforrás lehetett, hogy egy száraz időszakban történt a felvételezés, és a talaj kiszáradási frontja 8-15 cm-es mélységben volt. Vagyis a 12 cm hosszúságú szenzor által mért érték a kiszáradt feltalaj és az alatta lévő nedves réteg átlagaként adódott. Tapasztalataink alapján a kalibrálás ideális időpontja egy csapadékos periódus lezárulta után 5-6 nappal kezdődő időszak, amikor a talaj hidrofizikai tulajdonságainak függvényében már olyan előrehaladott állapotban van a talaj kiszáradása, hogy jelentős különbségek adódnak mind a talajhőmérsékletben, mind a talajnedvességben, de még nincs kiszáradva a feltalaj.

A terepi mérési kampány további tapasztalata az volt, hogy a mért talajnedvesség adatok erős kapcsolatot mutattak a talaj sótartalmával (3.10/a ábra). A 3.10/b ábra a sótartalom térbeli eloszlását mutatja, és ezen jól látszik, hogy a Tiszántúlon felvételezett pontokon az jóval nagyobb értékeket mutatott, mint a Duna-Tisza közén. Viszont ha leválogatjuk a 0.06%-nál nagyobb sótartalmú pontokat és az összefüggést csak a nem szikes tulajdonságokat mutató talajokkal vetjük össze, az összefüggés már nem kimutatható. Következtetésként levonható tehát, hogy a következő mérési kampány szervezésekor célszerű más módszertani alapokra helyezett talajnedvesség-mérést is a kalibráláshoz alkalmazni.



3.10 ábra A talajnedvesség, valamint a sótartalom közötti kapcsolat a mintaterületen (a), a mérési kampány során mért sótartalom értékek (b)

Következtetések

A kidolgozott módszer tesztelése során számos olyan limitáló tényezőt találtunk, melyek megnehezítik a kalibrálás alkalmazhatóságát. A projekt további időszakában a tapasztalataink alapján további mérési kampányokat szervezünk, ahol nedves időszaktól követően kerítünk sort a terepi mérésekre, hogy minél szélesebb tartományban tudjunk talajnedvesség-adatokat szolgáltatni, valamint ügyelünk a nagyobb és homogén pontok előzetes szelekciójára. A TDR módszert alkalmazó hordozható eszközök mellett talajmintát is veszünk, melynek a víztartalmát laborban is megmérjük (m/m%), ezáltal kiküszöbölve a szikesség esetleges befolyásoló hatását. A jelenleg létrehozott és folyamatosan publikált SMI térképek egyelőre relatív talajnedvesség adatok, amelyek habár nem abszolút térfogatszázalékot tükröznek, mégis képesek arra, hogy a talajnedvesség viszonyok aktuális térbeli különbségeit reprezentálják. A javuló térbeli felbontás mellett a radar adatok ugyan alkalmasak a felhőborítás problematikájának kiküszöbölésére, azok kalibrációja és validációja még szintén nem megoldott.

4. Különböző méretarányú vegetáció monitoring célú távérzékelési adatgyűjtés és -elemzés 2000-től napjainkig a Délkelet-Alföldön és a Vajdaságban

Kovács Ferenc; Ladányi Zsuzsanna; Blanka Viktória; Szilassi Péter; van Leeuwen, Boudewijn; Tobak Zalán; Gulácsi András; Szalma Elemér; Cseuz László

Bevezetés

A biomassza (felszínborítás) alapvető fontosságú klímaváltozó, ezért pontos és naprakész információval kell rendelkezniük a vegetáció állapotáról, akár globálisan is. Klímaindikátorként a rövid idejű és tendenciaszerű változások és szélsőségek jelzője, amelynek értékelésére rendelkezésre áll távérzékelési módszertan (Ladányi et al. 2011, Gulácsi és Kovács 2018, Szabó et al. 2019). A változó környezeti körülmények alapvetően csökkenő biológiai produktivitást jeleznek előre, így a környezeti vizsgálatok kulcsfontosságú kérdése, hogy a mező- és erdőgazdálkodás a közeljövőben hogy lesz képes alkalmazkodni a folyamatosan változó adottságokhoz?

A felvételezés időfelbontásának köszönhetően a multispektrális vegetációs megfigyelés gyakorlatilag valós idejű eredményekkel támogathatja a területi tervezést. Az általunk vizsgált 2000–2018 közötti időszak több, mint 450 felvétel pixel alapú feldolgozását, elemzését jelenti, amely adatmennyiség nő az aktuális műholdképek bevonásával. Ezért a feldolgozáskor az automatizáció, a big data módszertan elkerülhetetlen, amelyet a szabadon elérhető Google Engine platformon oldottunk meg (Kumar és Mutanga 2019). Célunk az aszály és vegetáció anomália közötti kapcsolat térbeli elemzése, melynek aktuális eredménye folyamatosan elérhetővé válik a projekt interaktív weboldalán.

A mintaterület az erdei ökoszisztémák aszályérzékenysége szerint a klímaváltozás által fokozottan veszélyeztetett régiók egyike, ahol a klimatikus viszonyokhoz igazodó földhasználat kialakításában fontos szerepe van az erdőgazdasághoz kapcsolódó ökoszisztémák megőrzésének, állapotjavításának (Mátyás et al. 2010). A fásszáru növényzettel borított felszínek a talajvízhez közeli rétegekből is nyerhetnek vizet, így a tartós szárazság kimutatására alkalmasak, míg a gyepek, rétek és szántóföldek lágyszáru növényei a rövid ideig tartó csapadékhiány miatti szárazságra érzékenyek.

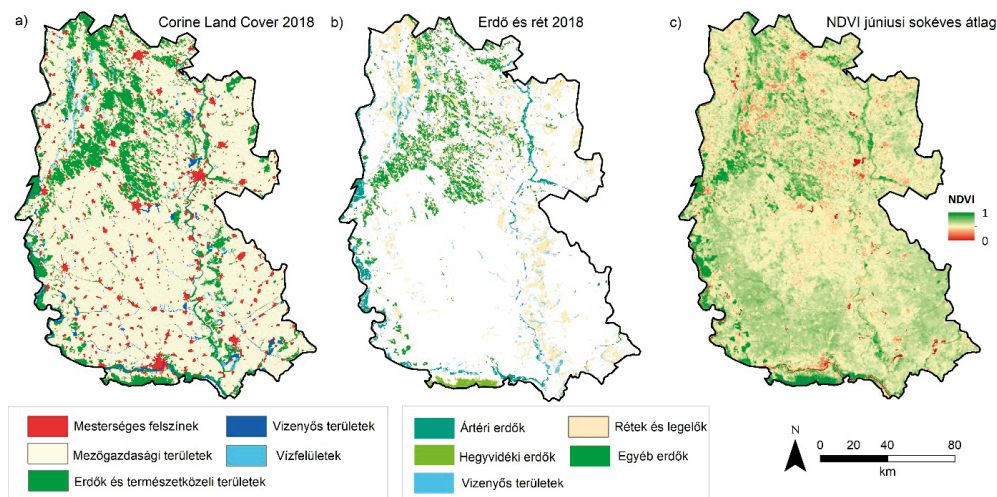
Eredményeink a térségre vonatkozóan egyedülállóak, így jól kiegészítik azoknak az európai és nemzeti aszály monitoring GIS rendszerek térbeli eredményeit, amelyek

a klímaváltozás hatásokat nagyobb idő- és térbeli léptékben vizsgálják (European Drought Observation, Drought Watch, TEMRE, NATÉR).

A mezőgazdasági művelésű területeken a nagy időfelbontású MODIS 250 m-es képeiből nyert biomassa produkciót a LUCAS adatbázis alapján, kukoricát termelő parcellákon ellenőriztük több évre vonatkozóan. A nagy térbeli felbontású vegetáció monitoring lehetőségeit eBee X merevszárnyú drón felvételeinek vizsgálata alapján összegeztük.

Mintaterület és módszerek

A biomassa produkció elemzését a teljes mintaterületre kis felbontású műholdfelvételekkel vizsgáltuk (4.1/a ábra). Az elmúlt két évszázadban jelentős területeket vontak művelésbe, így kis területen maradt fent a természetes vegetáció, mint a lösz- és homokpuszták, vagy az ártéri ligeterdők. Napjainkban az északi, magyar részen az erdőtelepítések nyomán jelentős kiterjedésű a fás vegetáció, míg a Vajdaságban a mezőgazdasági hasznosítás dominál. A mezőgazdasági termésátlagokra nem érhető el közös és részletes térbeli adatbázis, ezért a hosszú idősoros adatok értékelését 2000-től csak a viszonylag állandó területhasználatokra végeztük el: különböző típusú erdőkre, gyepekre és legelőkre, illetve vizes élőhelyekre (4.1/b ábra). A lehatárolás alapját a 2018-ban készült 1:100.000-es Corine Land Cover adatbázis képezte (4.1/a ábra). A MODIS kis felbontású műholdképein az évszakos változások, eltérések a homogén cellák alapján különböztethetők meg. A távérzékelési módszereknek a felszíni heterogenitásra jellemző érzékenységük miatt le kellett válogatnunk a homogén fedettségű pixeleket. A magyarországi erdészeti monitoring (TEMRE) 75%-os fedettséggel számol, Kovács (2018) a 66%-os homogén fedettségű pixeleket alapján elemzett, míg Kern et al. (2017) a minimum 90%-os fedettséget mutató cellákkal számolt. A területünket megvizsgálva az adott felszínborítással minimum 50%-ban fedett MODIS cellákat válogattuk le, így a vizsgált felszín 6265 km², ami a teljes mintaterület 38%-a. A szűrést követően CLC 2018 alapján meghatározott gyeperdő és legelő 37%-át, a dombvidéki erdők 70%-át, a síkvidéki erdők és az ártéri erdők 40-40%-át, valamint a vizes élőhelyek 26%-át értékeltük a monitoring során. Az értékelt felszín fedettségi aránya a lágyszárúak, illetve fásszárúak megoszlásában közel 50-50%; az erdők többsége a síkvidéki erdő (2130 km²), míg a legkevesebb a dombvidéki erdő (200 km²).



4.1 ábra Felszínborítás a Corine Land Cover (2018) alapján (a); a lehatárolt erdő, gyep-rét-legelő és vizes élőhely poligonok (b); valamint a mintaterület átlagos júniusi (2000-2017) NDVI térképe (c)

Spektrális indexek alkalmazása az aszálymonitoring vizsgálatban

Négy általánosan alkalmazott spektrális indexet teszteltünk: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Enhanced Vegetation Index (EVI), Normalized Difference Water Index (NDWI), Normalized Difference Drought Index (NDDI). A szabadon elérhető, 500 m-es térbeli felbontású, 8 napos MODIS MVC (Maximum Value Composite) a cellához az NDVI maximum által prezentált pálya reflektanciáját párosítja; a 8 napos periódus $NDVI_{max}$ értéke mindig a geometriailag pontosabb lesz. MVC feldolgozottsággal számolt indexek a napi adatoknál jobban becsülnek (Huete et al. 2002). A MOD09A1 felvételek és MOD13A1.006 termékek feldolgozása a Google Earth Engine platformon történt.

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$

$$EVI = G \cdot ((NIR - Red) / (NIR + C1 \cdot Red + C2 \cdot Blue + L))$$

$$NDWI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$$

$$NDDI = (NDVI - NDWI) / (NDVI + NDWI)$$

ahol NIR: közeli infravörös-, SWIR: rövid infravörös-, Red: vörös-, Blue: kék hullámhossz-tartományok; $L=1$; $C1=6$; $C2=7,5$; $G=2$

Kern et al. (2017) és Gulácsi és Kovács (2018) szerint is megalapozott ha több indexet használunk egyidejűleg, mivel nincs tökéletes index nincs. Értékük -1 – +1 közötti. Az NDVI és EVI esetében minél nagyobb az index értéke, annál nagyobb a megfigyelt fotoszintetikus aktivitás. Biológiai összetett területen az NDVI jó a változás-értékelésében, de a sok biomasszával bíró területeken tendál a telítettség

felé, ami skálázási problémát okoz. Az EVI érzékenyebb a magas biomassza produkcióra, jobban definiált csúccsal, szűkebb tartománya előny a „telítettség” kiküszöbölésében, hangsúlyosan mutatja a levélesztést, redukálja a felszín és az atmoszféra hatásait. A regionális megfigyelések jelentős része a MODIS EVI megoldásokra alapoz (Huete et al. 2002, Solano et al. 2010).

Az NDWI a növénylombozat nedvességtartalmát jellemzi: ha csökken a víztartalom, SWIR tartományban megnő a reflektancia. Szabó et al. (2016) eredményei szerint az NDWI nem ad számottevő plusz értéket az NDVI alapú értékeléshez, de Jackson et al. (2004) és Gu et al. (2007) szerint víztartalom becslésében az NDWI jobb. A két index közötti statisztikai kapcsolat érvényesíti a rájuk épülő NDDI aszály-indexet. Aszály esetén a vízindex értékek gyorsabban és nagyobb mértékben csökkennek, mint a vegetációs index, így az NDDI pozitív eltérése aszályt jelez. A mintaterületet is érintő validációs vizsgálatok szerint a terepi meteorológiai adatok alapján az NDVI és NDWI, míg az egyéb távérzékelési adatok szerint az EVI ad valósághűbb eredményeket (Kern et al. 2017, Gulácsi és Kovács 2018, Kovács 2018).

A sokéves átlag értékelése mellett a standardizált anomália adja meg a Mezősi et al. (2016) szerint is prognosztizált, fokozódó hidrológiai szélsőségeknek való kitettség mértékét, amely alapján lehatárolható a vizsgált időszak vízhiánya, mely a biomassza-produkciót mérsékli vagy dinamikáját időben eltolja.

$$NDDI_{\text{standardizált}} = (NDDI - NDDI_{\text{átlag}}) / NDDI_{\text{szórás}}$$

A lágyszárú vegetációs felszínek mutatói általában konzisztensek az aszály megjelenésével, de az erdők nem feltétlenül mutatnak hasonlóságot a meteorológiai anomáliákkal (Kern et al. 2017).

Mezőgazdasági terület vegetáció állapotának elemzése LUCAS adatbázis alkalmazásával

A mezőgazdasági monitoringban nehézség, hogy regionális léptékben nem áll rendelkezésre térbeli adat a különböző terméseredményekről. Megoldásként a nagy időfelbontású MODIS legnagyobb térbeli felbontású, 250 m-es felvételeit alkalmaztuk. A 16 napos MVC EVI index alapján megadott biomassza görbe értékek értékelésére tettünk kísérletet a LUCAS adatbázis segítségével meghatározott kukorica parcellákon, mert a kukorica az aszályra legérzékenyebb növény a szántóföldi kultúrnövények közül. A terepi felvételezésű, 3 évente frissülő adatbázisban meghatározott pontok fényképein rögzítik a területhasználatot.

Leválogattuk a kukorica területhasználatot jelző pontokat a 2006, 2009, 2012, 2015. évekre. A kiválasztott pont közelében nincs más területhasználat, így a vegetációs index valóban tükrözi a kukoricára vonatkozó körülményeket. A pontokra készített biomassza-produktum görbéket az egyes évek, valamint a főbb tájtypusok szerint térben és időben jellemeztük. A Pálfi-féle aszályindex (PAI) szerint a vizsgált 4 év közül a 2006 csapadékos év volt ($PAI_{\text{Szeged}}=4.25$), míg a többi aszályosnak tekinthető

(2009 $PAI_{\text{Szeged}}=8.26$; 2012 $PAI_{\text{Szeged}}=13.97$; 2015 $PAI_{\text{Szeged}}=10.10$). Térbeli elemzést 4 db különböző régióra végeztünk (Bácska, Tiszántúl, Dunamente, Duna-Tisza köze), hogy eltérő természetföldrajzi viszonyokkal rendelkező területeken értékeljük az aszály következményeinek térbeli változatosságát.

Nagyon nagy felbontású vegetáció monitoring lehetőségei

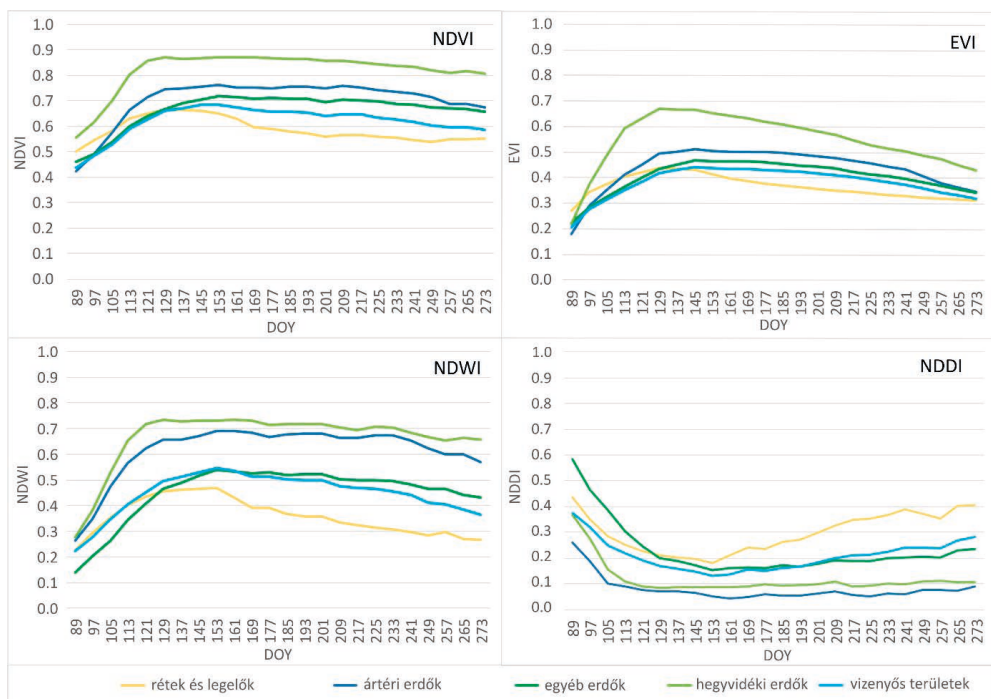
A parcella szintű értékeléshez fontos nagyon nagy térbeli felbontású adatgyűjtést kutatásunkban a senseFly eBee X merevszárnnyú drón biztosította a látható fényben érzékelő S.O.D.A. és az infravörös tartományt felvételező Parrot Sequoia+ szenzorok használatával. Az alkalmazott 8 cm-es felbontás részletes vegetáció monitorozásra ad lehetőséget, akár 20-30 km²-es területen is. Az őszi búza vetésű parcellákon a vízhiányos időszak hatásának vizsgálatára 2019 tavaszán nyílt lehetőség.

Eredmények

Hosszú idősoros vegetációs index adatok alkalmazhatóságának térbeli és időbeli vizsgálata az aszálymonitoringban

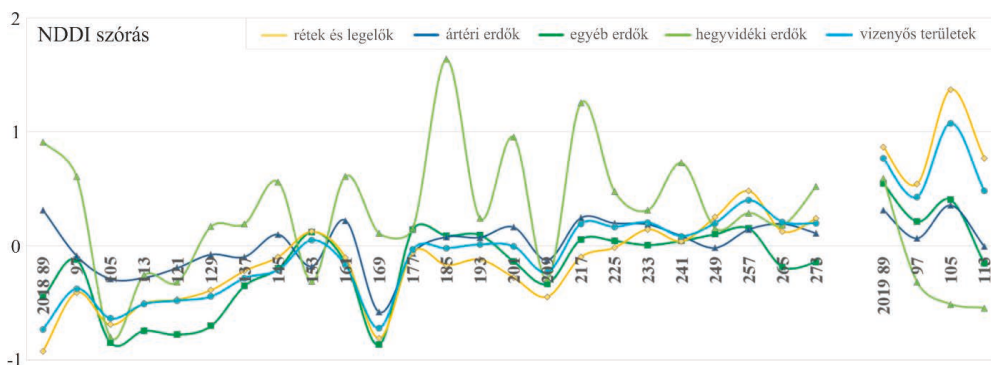
A sokéves, 2000-2017 közötti index átlagértékek igazolják az erdő, gyeperét/legelő és vizes élőhely lehatárolásunk helyességét, illetve mind a négy index figyelembe vételének jogosságát (4.2 ábra). A hasonló elv szerinti NDVI és EVI között is jelentős a különbség. A vártak megfelelően a dombvidéki erdőnél (Fruska Gora) a legnagyobb, és az év nagy részében a légyszárú vegetációnál a legalacsonyabb a biomasz-produkció. Az EVI jobban követi a biomasz-produkció éves változását, míg az NDVI-nél a nyári lombkorona kiteljesedés után a nagyon magas index medián értékek a vegetációs periódus hátralévő részében alig csökkennek. A legintenzívebb változás a vegetáció tavaszi növekedése, amikor EVI/NDVI mediánok május közepéig 0,1-el is nőnek a 16 napos időszakok alatt.

A legjobban az NDWI alapján határolhatjuk le a felszínfedettségi típusokat. A görbék futása a külső hatásokra érzékeny képet mutat. A magas NDDI aszályt feltételez, ami fontos az alacsonyabb értékek értelmezésénél; értelemszerűen a vízhiánnyal nem sújtott ártéri erdők NDDI átlaga a legalacsonyabb.



4.2 ábra Spektrális indexek 2000-2017 közötti átlag értékeinek alakulása a nyári félévben 8 napos kompozit képekre (Y tengelyen az év adott napja szerepel - DOY)

A standardizált NDDI anomáliával egyértelműen lehatárolhatók az extrém, aszályos vegetációs állapotok, így a 2018-19 térbeli vizsgálatával az előrejelzések szerinti egyre gyakoribb és súlyosabb aszályhelyzet földrajzi következményeit is értékeljük (4.3 ábra).



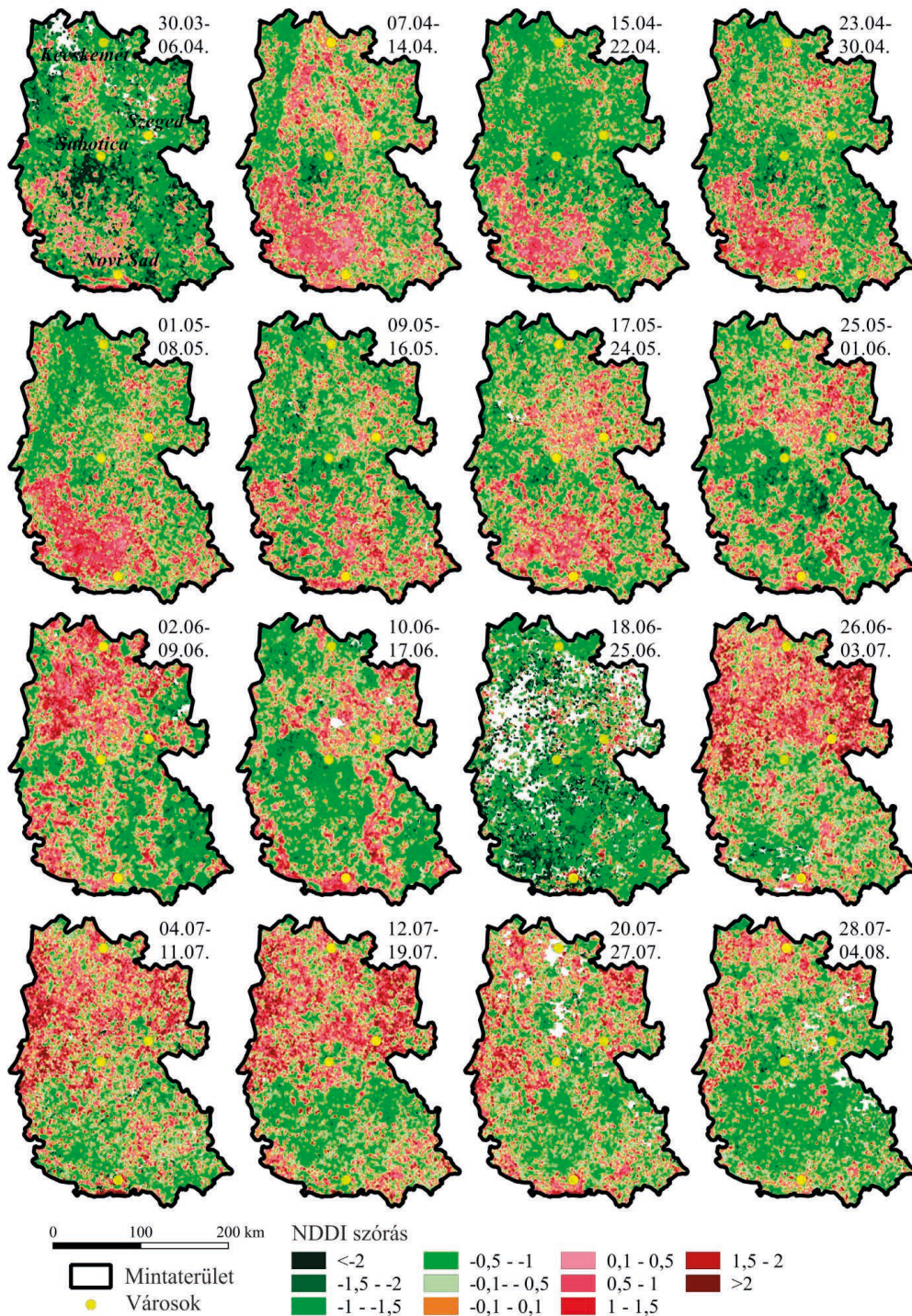
4.3 ábra NDDI standardizált eltérés medián átlagértékei 2018.03.30-10.07, valamint 2019.03.30-04.30. között (Y tengelyen az év adott napja szerepel - DOY)

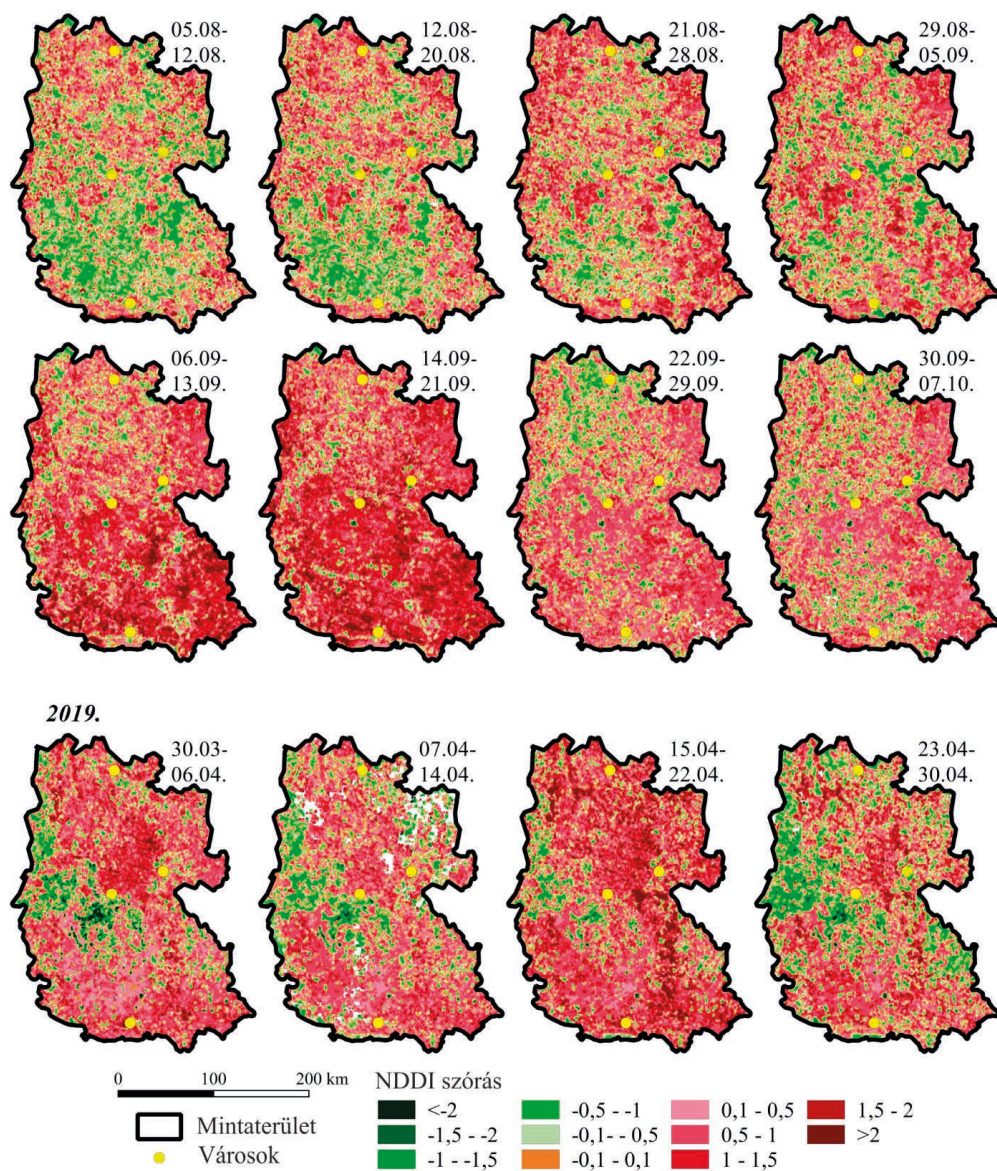
Az NDDI eltérésben az 1,0 érték feletti tartomány jelez aszályt. Ha egy felszínnek már az átlaga megközelíti, vagy meghaladja ezt az értéket, ott jellemzően aszályos körülmények figyelhetők meg. A 2018-as évben csak a dombvidéki erdő eltérés közelítette, vagy haladta meg az 1,0 értéket, de a csapadék- és hőmérsékleti viszonyoknak köszönhetően nem folyamatosan, így jelentős aszályról nem beszélhetünk. 2019 tavaszán folyamatosan 0,5 fölötti az eltérés a gyeprét/legelőkön és a vizes élőhelyeken, ami nem jó előjel a nyár felé közeledve. Hirtelen, nagy változások (NDDI eltérés > 2,0) fordulhatnak elő a térbeli eloszlásnál, ami elsősorban antropogén hatásokat feltételez (4.4 ábra).

A vizsgált felszínfedettségek évközi eltéréseinek átlagos görbéinél feltűnők a dombvidéki erdők indexérték eltérései, amely a vizsgált időszak több mint a felében vagy jellemzően magasabb értéket mutatnak a többi felszínnél, vagy azokkal pont ellentétesek. Ez azzal magyarázható, hogy a dombvidéki erdők kizárólag az Újvidéktől délre fekvő Fruska Gora hegység területén találhatók, vagyis a többi síkságon fekvő felszínnél magasabban, ráadásul a mintaterület legdélebbi határán, ami érintheti a dél felé fokozódó klímaváltozási hatásokat. A vizsgált felszínek NDDI eltérései a tavaszi időszakokban jelentkeznek, vagyis a fotoszintézist és víztartalmat ért hatások ekkor térnek el a legjobban. A vizes élőhely és a gyeprét/legelő kategóriák görbéinek futása ritkán különböző.

A klimatikusan viszonylag homogén mintaterületen a földrajzi hatásokon keresztül kimutathatók a lokális/regionális különbségek. Több időpontban jól elkülöníthető a Duna-Tisza közti síkvidék, vagy a Bácska alacsonyabban fekvő területe. A magyarországi részen 2018.06.26-tól – egy-két időszaktól eltekintve – folyamatosan a pozitív NDDI eltérésű területek túlsúlyban. Az egész mintaterületet jellemző aszály rajzolódik ki 2018. szeptember 6–21 között és jellemzi a 2019. évi áprilisi adatokat is. A pixel alapú elemzés az átlagértékektől eltérően jobban tükrözi a lokális jellegét, így a kedvező átlagértéket jelző időszakokban is találunk kedvezőtlen, aszályos felszíneket. A jellemzően a Duna-Tisza közén elterülő síksági erdőkben 2018 június elejétől 2019 április végéig lehatárolhatók a szinte folyamatosan pozitív NDDI eltérést mutató cellák.

2018



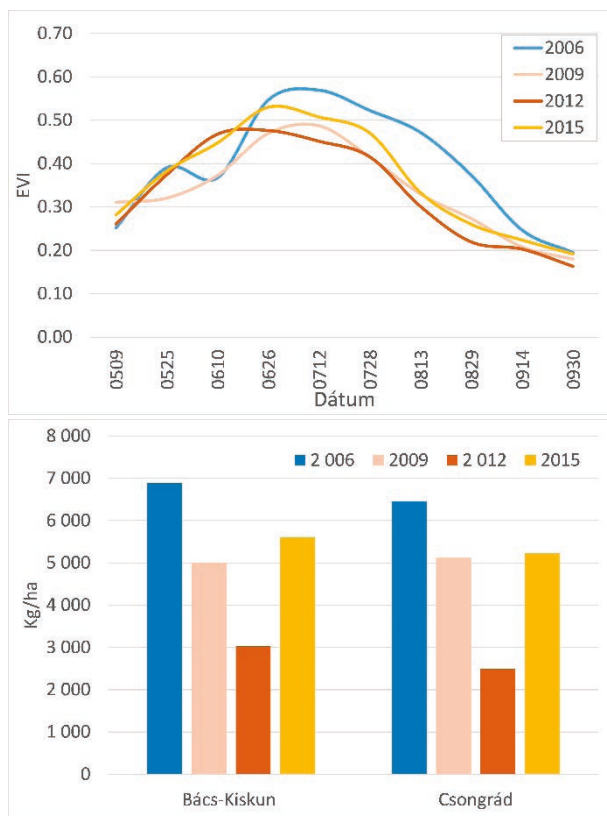


4.4. ábra Standardizált NDDI térbeli elemzése 2018-2019-ben

Mezőgazdasági területek tér- és időbeli állapotváltozása

A vizsgált évek közül a csapadékos 2006. év mutatja a legnagyobb EVI értékeket, igaz a június eleji átlagértékekben a 100 mm-t meghaladó havi csapadék (és keletkező belvíz) okozott vélhetően visszaesést, ami május-júniusban hullott. A 2009. és 2012. években az EVI görbe lefutása jól tükrözi az aszály hatásait: a májusi-júniusi

időszakra a többi évhez képest később induló 2009. évi EVI növekedése csak júliusra éri el az eleve alacsony csúcstértékét, míg a legjobb kezdeti növekedést mutató 2012. június elejétől folyamatosan a legalacsonyabb értéket mutatja az év végéig. Az EVI görbék fenti anomáliái jól összevethetők a megyei termésátlagokkal (4.5 ábra). Mindkét megyében 2006-ban volt a legmagasabb a termésátlag, és 2012-ben a legkisebb.

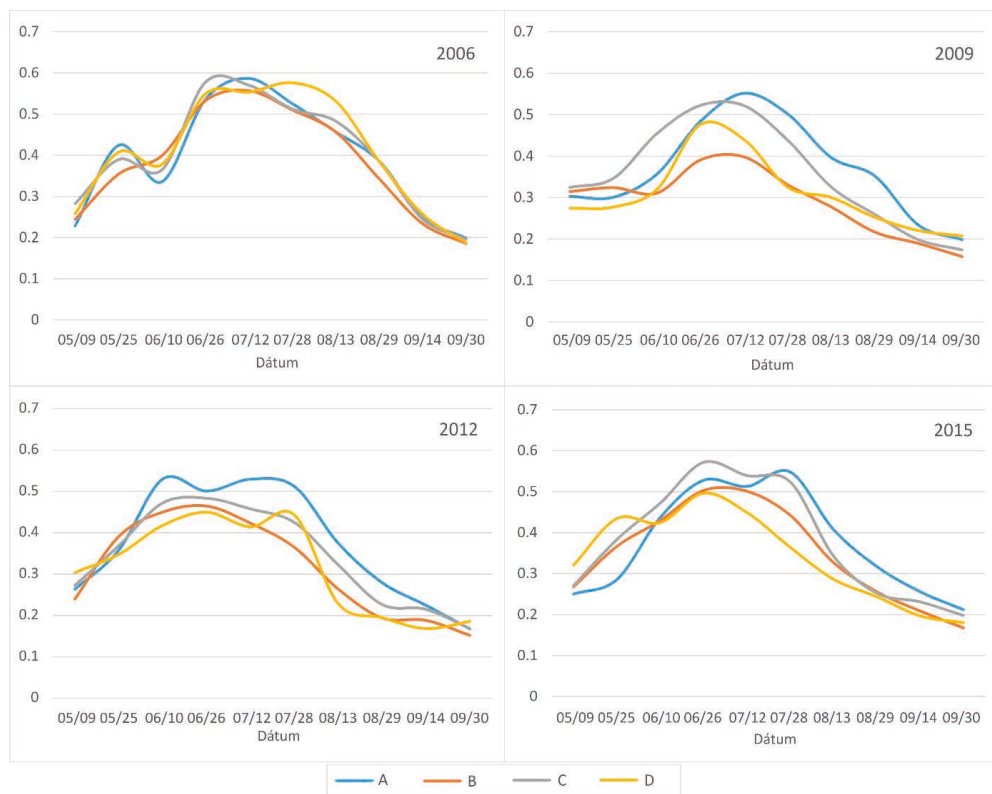


4.5 ábra A vizsgált kukorica parcellák átlagos EVI értékei a 16 napos MODIS MVC képek alapján a vizsgált években (a), Csongrád és Bács-Kiskun megyei kukorica termésátlag a vizsgált években (b)

A biomassa görbék 2006-ban mutatják a legegységesebb képet, a jó csapadékviszonyoknak köszönhetően (4.6 ábra). Itt látható legjobban a kukorica július-augusztusi teljes érése; a legnagyobb értékekkel a Duna-Tisza közén találkozunk. Ezzel szemben az EVI értékekben a legnagyobb különbségek 2009-ben tapasztalhatók; a legalacsonyabb átlagértékeket a tiszántúli parcellákon találjuk, miközben a bácskai adatok szép és egyenletes lefutást mutatnak. Az aszály hatásaként a Tiszántúl és a Duna-Tisza köze értékei 2006-al összevetve akár 50%-al is csökkentek. Az aszályos években, például 2015-ben az évi EVI görbéken a maximum mindenhol csak június végén/július elején látható, míg 2012-ben június elejétől minden vizsgált területen csökkent az EVI értéke. Utóbbi két év görbéin látható másodlagos (késői) maximumok a kukorica teljes éréséhez is köthetők, aminek alapvetően a száraz meleg időjárás kedvez, viszont ezekben

az években számolni kell a tavaszi/kora nyári csapadék hiányával. A 2012. és 2015. években az aszály súlyossága hasonló volt, de míg 2012-t egy 2011. évi nagyon meleg és aszályos év előzte meg, addig 2015. évet megelőzően 2014-ben nem volt aszály. Ez okozhatja a bácskai és a tiszántúli különbségeket, a vártnál magasabb értékeket. A legrosszabb termésátlagú években (2009, 2012) a legkisebb, vagy a második legkisebb biomassa produkciót a Duna-Tisza közti parcellákon tapasztalhatjuk, ami a jövőre nézve felveti a kukorica termesztés korlátait a térségben.

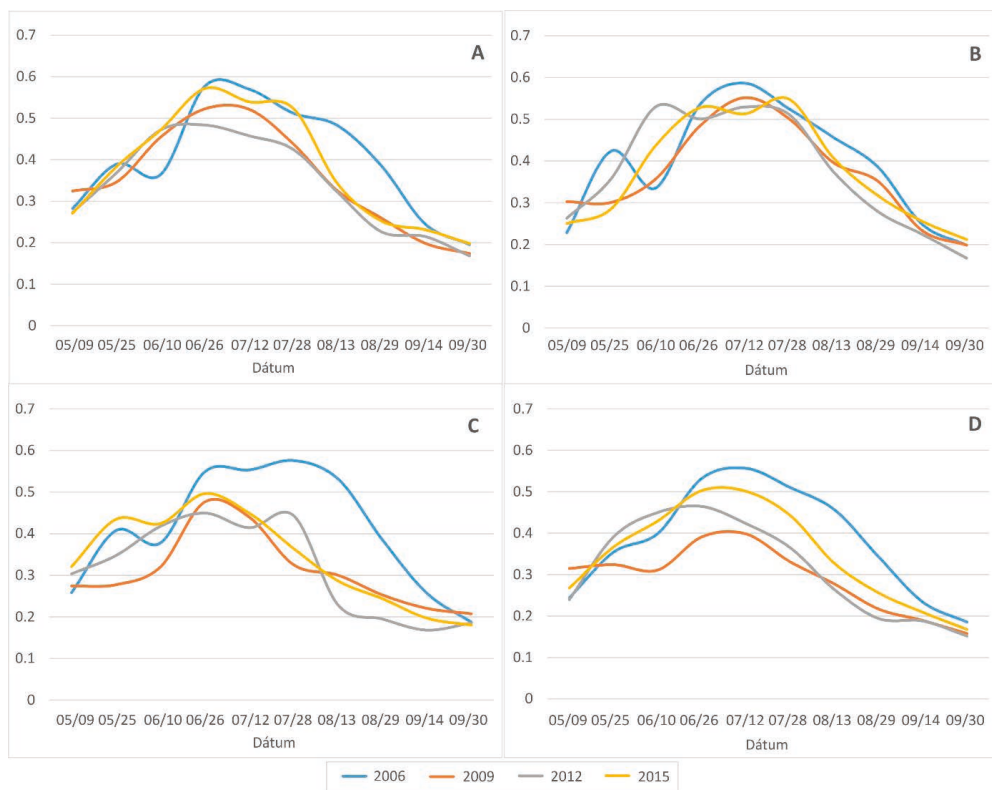
Az EVI átlagértékek hirtelen változása a környezeti viszonyokra, illetve az antropogén hatásra gyorsan reagáló vegetációra utal. A már említett 2006. évi (bel)vizes állapot mellett ilyen a 2012. évi Duna-Tisza közei és a 2015. évi bácskai adatsor aratás miatti augusztus közepi EVI értékcsökkenése, illetve a 2012. évi Duna-Tisza közti és 2015. évi dunamenti kedvező meteorológiai helyzet miatti július végi hirtelen növekedése.



4.6. ábra A 16 napos kompozit EVI index képekből rajzolt biomassa görbék a vizsgált évekre a LUCAS adatbázis kukorica parcella pontjaira Csongrád és Bács-Kiskun megyében. (A: Dunamente; B: Tiszántúl; C: Bácska; D: Duna-Tisza köze)

A középtáji EVI görbék időbeli lefutását illetően legkisebb eltérést a Bácskában és a Duna-mentén tapasztaltuk (4.7 ábra). A kis eltérések a kedvező (jó víztartó képességű) talajtani adottságoknak és vízellátottsági viszonyoknak köszönhetők. Nem csoda, hogy 2006. évi június eleji csapadék miatti visszaesés a Dunamentén a

legjelentősebb, a talajvíz elérhető közelsége és a víztartó talajok miatt. Nem csak az aszály, de a víz túlzott jelenléte is okozhat negatív produkciós anomáliát. Az aszályal szemben fokozott kitettségű Duna-Tisza közén a rossz vízgazdálkodási homoktalajok, és az alacsony talajvízszint mellett 2006-ban kiemelkedő az EVI produkció. A Duna-Tisza köze mellett a Tiszántúl EVI görbéi mutatják a legjelentősebb évenkénti eltéréseket.

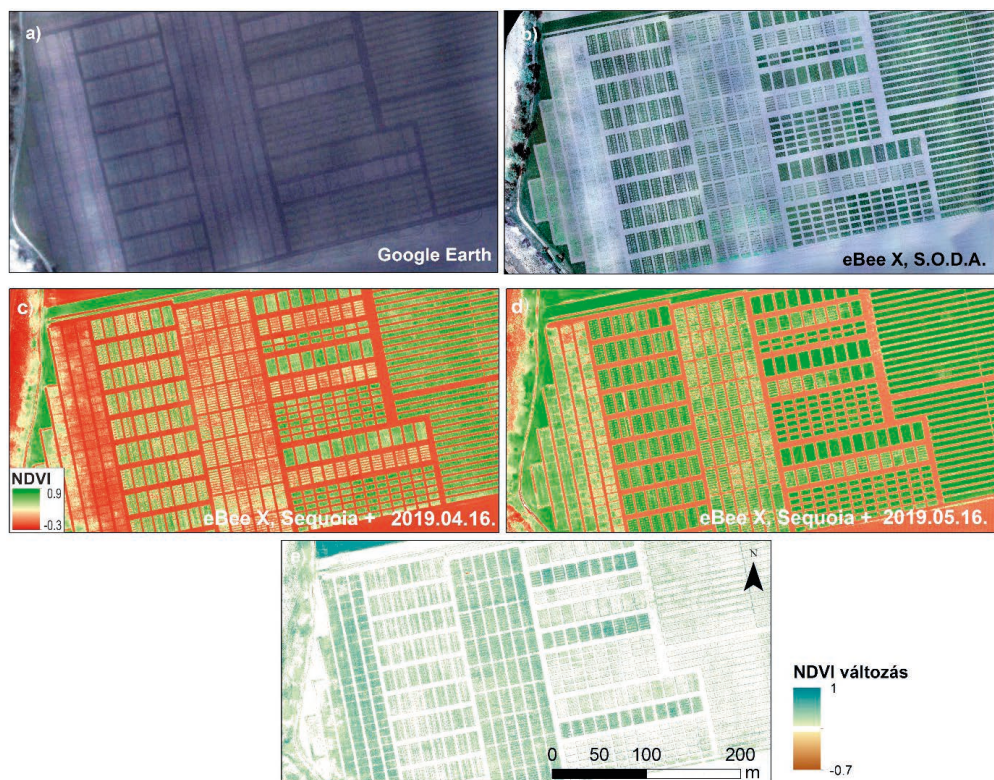


4.7 ábra A 16 napos kompozit EVI index képekből rajzolt biomassza görbék alakulása tájtípusok szerint a LUCAS adatbázis kukorica parcella pontjaira (A: Bácska; B: Dunamente; C: Duna-Tisza köze; D: Tiszántúl)

Drónnal történő nagy felbontású vegetáció monitoring lehetőségeinek vizsgálata

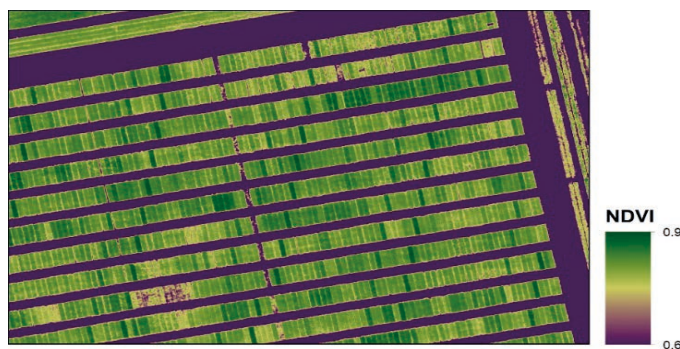
A 2019. április 16-án készített ortofotókon jól láthatók az őszi búza parcellákon belüli térbeli különbségek (4.8/b,c ábra). A peremterületi zöld sávok homogenitása annak köszönhető, hogy egy fajtából és a parcellákhoz képest nagy területen lett elvetve, mely növeli a kultúra gyomelnyomó képességét. Az NDVI térbeli anomáliák egyik oka a márciusi műholdfelvételen is jól látható talajtípus különbözőség (4.8/a ábra), másik ok a megjelenő gyomfajok heterogén elrendeződése. A gyomokat és

a gabonafajtákat az RGB felvételen könnyedén el lehet különíteni. A valós színes képen a fizikai talajféleséget jelző világosabb hosszanti foltok eleve hátrányba kerülnek aszály idején. A 4.8/c,d,e ábra szerint a májusi csapadék jelentős vegetációs fejlődést okozott, és még inkább elkülönültek a különböző fajták produktumai.



4.8 ábra Őszi búza parcellákról készült felvételek Szeged környezetében a) GeoEye műholdkép (GoogleEarth) 2019.03.14-én; b) senseFly S.O.D.A2-vel készült eBee X RGB drón felvétel 2019.04.16-án; c) Parrot Sequoia+-al készült eBee X NDVI drón felvétel 2019.04.16-án; d) eBee X NDVI drón felvétel: 2019.05.16. e) NDVI változás 2019.04.16 – 05.16. között

A szélsőséges vízellátottság és időjárás-viszonyok a felvételezést is korlátozzák. Az év eleji nagy szélsébség többször korlátozta a felvételezést, illetve az alacsony talajnedvesség miatt a csírázás sokkal később indult meg. A májusi intenzív csapadékos időszakban a felhőborítás jelentette a monitoring szűk keresztmetszetét. A kísérleti területen belül található talajfoltok kultúrára gyakorolt negatív hatásait, randomizált vagy fix metodika szerinti fajtaismétléssel mérséklük, így a tenyészkert különböző helyein ismétlődnek a fajtaparcellák (4.9 ábra).



4.9 ábra Fajtaisméltódás a kísérlet északkeleti blokkjában.

Összegzés

Környezeti monitoring vizsgálatunkban kis- és nagy térbeli- és időbeli felbontásban kaptunk eredményeket különböző területhasználatokra. Eredményeinket az adatok körületekintő előfeldolgozása is megalapozta, a regionális léptékű elemzést is homogenen felszínfedettségű lehatárolással értük el. Az alkalmazott spektrális indexeknél tapasztalt különbségek igazolják mind a négy féle index figyelembe vételének jogosságát.

A különböző fedettségű vegetációs biomassza-produktumra jellemző alapvető különbségek jelzik, hogy a folyamatok csak ebben az egy tájalkotó tényezőben is összetettek. A klimatológiai előrejelzések alapján a melegedés folyamata, illetve az extrém száraz, aszályos időszakok előfordulásának gyakorisága a közeljövőben fokozódni fog, ami várhatóan tartóssá teszi a jelenleg még rövid időszakra jellemző biomassza-produktum csökkenést. A változékonyságon látható a vegetáció környezeti hatásokra adott gyors válasza. Az extrém vízhiányos évek vagy időszakok hatása a vegetáción keresztül, az eltérések statisztikai és térbeli megjelenésével jól értékelhető, az agrárium számára támogatja a megelőzést. Eredményeink alátámasztják a kukorica termesztés korlátait a Duna-Tisza köze térségben.

A folyamatok összetettsége miatt az aridifikációs kutatásokban érdemes törekedni a szintézis alapú gyakorlati javaslatok megfogalmazására. A monitoring vizsgálatok további célja a növekvő adatsorban rejlő statisztikai lehetőségek kiaknázása. A vegetáció funkcióinak jobb megértéséhez ismerni kell az időjárási és talajtani paraméterekkel való kapcsolatát, akár parcella szinten is.

Vizsgálataink új eredményei a több érzékelőnél is tapasztalható távérzékelési adatszolgáltatás minőségi javulásának köszönhető. Az adatbázisok a tanulmányban is használt módszerekkel jó eredményekkel szolgálhatnak az operatíván működő, közel valós idejű, automatikus változás-érzékelés létrehozásához.

5. Mezőgazdasági aszálykockázat-bebecslés a Vajdaságban

A mezőgazdasági aszály monitorozásához megfelelő SPEI index kiválasztása a Vajdaságban

Bezdan, Atila; Vranešević, Milica; Blagojević, Boško; Pejić, Borivoj;
Bezdan, Jovana; Milić, Dragan; Tica, Nedeljko; Zekić, Vladislav

Vajdaság területén az aszály kialakulása jelentős következményekkel járhat a mezőgazdasági termelésre nézve. Kisebb-nagyobb mértékben szinte minden évben jelentkezik aszály, amely a termés hozamok korlátozó tényezőjeként jelenhet meg (Bezdan, 2014). Mivel a Vajdaság földrajzi-éghajlati viszonyai mellett a csapadék mennyisége és eloszlása a mezőgazdasági termelés egyik fontos korlátozó tényezője, ezért az aszály rendkívül kedvezőtlenül hathat a mezőgazdasági tevékenység eredményességére (Rajić és Bezdan, 2011).

Az előző néhány évben a Vajdaságban a mezőgazdasági termelés jelentős aszálykárokat szenvedett el. 2012-ben a termesztett növényekben keletkezett kár a 45 vajdasági község és város területén mintegy egymilliárd eurót tett ki, miközben az egyes növények hozama több mint 50 százalékkal csökkent.

Globális szinten a természeti csapások közül az aszály érinti közvetlenül a legnagyobb számú népességet. Tulajdonképpen az aszály nem rendkívüli természeti jelenség, időnként szinte minden éghajlati területen jelentkezik (Kogan 1997; Wilhelmi és Wilhte, 2002; Wilhite, 2005). Azokon a területeken is kialakul, amelyek jelentősebb csapadékmennyiséggel rendelkeznek, és azokon is, amelyeken csekély mennyiségű csapadék jellemző. Az aszály időszakos eltérés a területre jellemző átlagos ariditástól, amely az éghajlat hosszú távú csapadékelátottsági jellemzője. Az éghajlati, hidrológiai, geológiai, geomorfológiai, ökológiai és társadalmi-gazdasági tényezők egymás közti bonyolult összefüggés-rendszere azt eredményezi, hogy az aszály jelenségét nagyon nehéz teljességében leírni egy egyetemes meghatározással (Pereira és Paulo, 2003).

A gyakorlatban az aszály olyan természeti jelenség, amelyet területileg (regionálisan) kell értékelni több szempontból, több tudományág integrálásával. Meghatározható meteorológiai, hidrológiai, mezőgazdasági és társadalmi-gazdasági szempontokból (Wilhite és Glantz, 1985; Prohaska, 2006). A meteorológiai aszály alatt olyan hosszán tartó időszakokat értünk, amikor a csapadék jóval kevesebb a sokéves átlagnál. A hidrológiai aszály alatt azokat az időszakokat értjük, amikor a folyók vízhozama kifejezetten alacsony, a víztározókban és a tavakban hosszú ideig alacsony a vízállás. A mezőgazdaságban az aszály alatt azokat az időszakokat értik, amikor a talajnedvesség lényegesen az átlag alatt alakul, és nem elégséges a termesztett növények fejlődéséhez. A társadalmi-gazdasági aszály összekapcsolja egy adott gazdasági termék (érték) keresletét és kínálatát a meteorológiai, mezőgazdasági és hidrológiai aszály elemeivel.

Az aszály eltérő jelentőségű és eltérő hatásokat vált ki az egyes területeken, mint amilyen a mezőgazdaság, a vízgazdálkodás, a vízenergia, az ökológia, stb. Például az aszály okozta terméshozam csökkentése nem minden termesztett növény esetében azonos, mivel ez függ a növények vízigényétől, aszálytűrő képességétől, az alkalmazott agrotechnika színvonalától és a talaj vízháztartásától. Az aszály különbözik a többi természeti katasztrófától abban, hogy kialakulása lassú és nehezen felismerhető, és hatásai összegződnek egy hosszabb időszakon keresztül.

Az aszály komplex jelenségét leegyszerűsítve az aszályindex segítségével mutathatjuk ki. Annak érdekében, hogy összehasonlíthassuk a világ különböző részein és a különböző történelmi időszakokban bekövetkezett aszályokat, szükség volt az aszály számszerűsíthető mutatójának (index) kidolgozására. Mivel az aszály meghatározása is sokféle, nagyon nehéz találni valamilyen egyetemes indexet. Ugyanakkor az aszály összetettsége miatt egyetlen index sem képes teljes mértékben leírni az aszályt (Prohaska, 2006).

Napjainkban világszerte számos aszályindex van használatban, ezek közül az egyik leggyakrabban alkalmazott a SPEI – standardizált csapadék- és evapotranspirációs index (Vicente-Serrano et al. 2010; Beguería et al. 2014). A SPEI a csapadék és a potenciális evapotranspiráció különbségén alapul. A jelen kutatás céljára azért választottuk ezt az indexet, mert a mezőgazdasági aszály tanulmányozására a legjobb az az aszályindex, amely egyidejűleg alapul a csapadékon és az evapotranspiráción – a vízháztartás két alapvető komponensén (Moorhead et al., 2015).

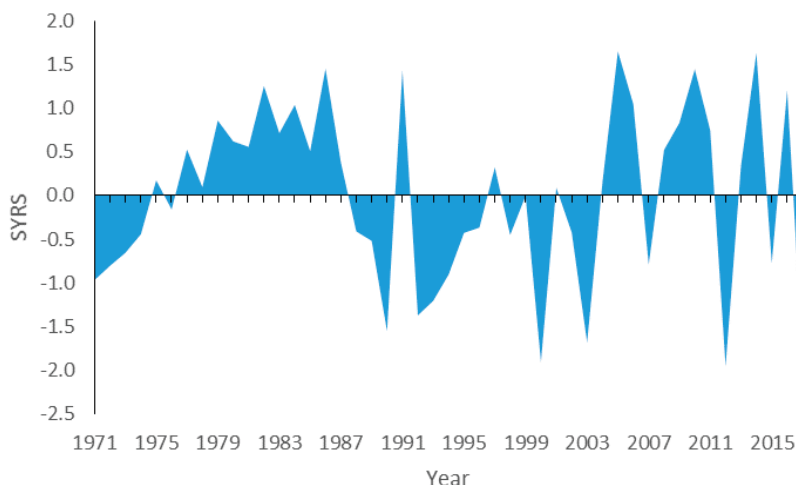
A kutatás első lépéseként azt vizsgáltuk, hogy milyen erős összefüggés van a Vajdaságban kukorica (a térség legtöbbet termesztett és legjelentősebb növényének) átlaghozamai és az egyes hónapokra és különböző időintervallumokra átszámított SPEI értékek között, hogy a vajdasági mezőgazdasági aszály megfigyeléséhez a megfelelő SPEI indexet válasszuk. A folytatásban a kukoricatermesztés költségelemzése alapján megbeccsültük azt a kukorica hozamot, amely lehetővé teszi a nyereséges termelést, majd a regresszió korábban felállított egyenletei alapján meghatároztuk azokat a SPEI index-értékeket, amelyeknél károk keletkezhetnek. Ezek a SPEI értékek olyan határértékeket jelentenek, amelyeket figyelembe kellene venni a mezőgazdasági aszály Vajdaságban történő elemzésekor.

Az elemzés kilenc településre (Óbecse, Nagyikinda, Szabadka, Újvidék, Mitrovica, Zomvor, Versec, Nagybecskerek és Belgrád) végeztük az 1971 és 2017 közötti időszakra. Azokat a településeket vontuk be a vizsgálatba, amelyeken a szerbiai Köztársasági Hidrometeorológiai Intézet fő meteorológiai állomásai találhatóak. Az átlagos kukorica hozamokra vonatkozó adatok a Szerb Köztársaság statisztikai évkönyveiből származnak (RZS, 2019). A kukoricatermesztés költségeinek és költség-szerkezetének kiszámolásához az analitikus árkalkuláció módszerét alkalmaztuk (Marko et al., 1998). A regressziós módszer segítségével megállapítottuk azt a becsült SPEI index értéket, amelynél károk keletkezhetnek. A kukoricatermesztés költségeinek kiszámítását a Vajdasági Gazdasági Kamara jelentéseinek az adatai alapján végeztük.

A kukorica a régió legfontosabb szántóföldi növénye, mivel magas hozamú és nagy területeken termesztik szemterméséért, valamint zöldtakarmánynak, fő terményként, illetve másodvetésként egyaránt. Szerbiában a legfontosabb szántóföldi növény, a megművelhető területek 35-40 százalékán termesztik, többnyire

a Vajdaság síkvidéki területein (Spasojević et al., 1994). A kukorica nagy hozamképességű növény (több mint 20 t/ha). Nagybani termesztésnél a közepesen kedvező években öntözés nélkül 7-8 t/ha, öntözéssel termesztésénél pedig 10 t/ha körüli hozamok érhetők el.

A mezőgazdasági termelés fejlődése, mint például a mind nagyobb mértékű és gyakoribb tápanyag-utánpótlás, az új fajták használata, a gyomirtás fokozódása, a magasabb színvonalú talajművelési technológiák alkalmazása általában a mezőgazdasági termelés felfelé mutató tendenciáinak, vagyis a trendszerűen növekvő termés hozamok kialakulásához vezet (Potopová et al. Ebben a tanulmányban a hozamok idő-soraiban megfigyelhető trendeket négyzetes regresszióval távolítottuk el. A kukorica hozamok „trend-mentesített” adatait tovább használtuk a hozam-reziduumok standardizált sorozatának (SYRS) a kinyerésére (5.1. ábra).



5.1. ábra A kukorica SYRS értékei a Vajdaságban, 1971-2017

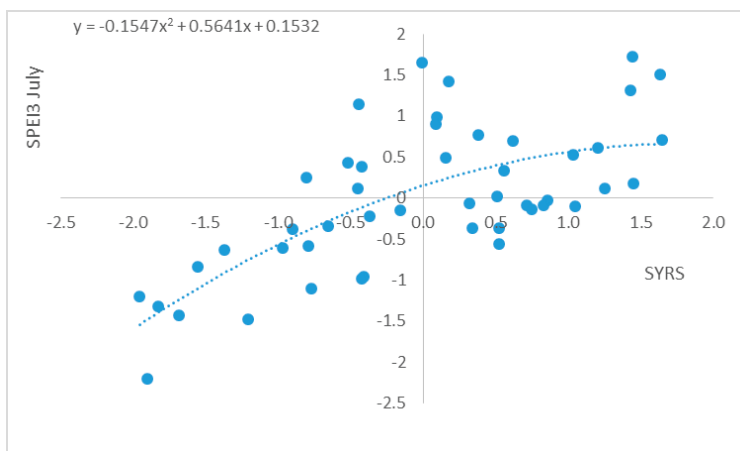
A folytatásban a korrelációs együtthatók számításának az eredményeit mutatjuk be annak érdekében, hogy láthassuk a vajdasági kukorica átlaghozamai és a SPEI index átlagos értékei közötti összefüggések erősségét (5.1. táblázat).

5.1. táblázat Pearson-féle korrelációs együttható a kukorica SYRS és SPEI indexe között

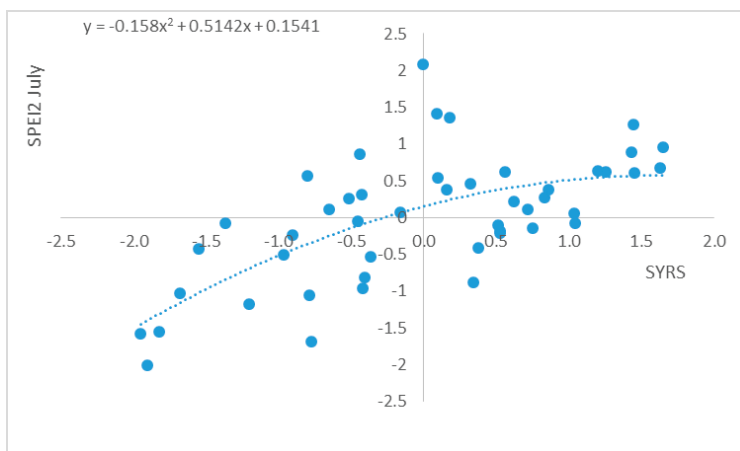
SPEI1 _{máj}	SPEI1 _{jún}	SPEI1 _{júl}	SPEI1 _{átlag}	SPEI2 _{máj}	SPEI2 _{jún}	SPEI2 _{júl}	SPEI2 _{átlag}	SPEI3 _{máj}	SPEI3 _{jún}	SPEI3 _{júl}	SPEI3 _{átlag}
0.398	0.452	0.517	0.545	0.430	0.547	0.636	0.617	0.543	0.541	0.678	0.659

A Pearson-féle korrelációs együttható minden értéke azt mutatja, hogy statisztikailag jelentős összefüggés van a vajdasági kukorica hozamok és a SPEI index értékei között, az $\alpha = 5\%$ szignifikanciaküszöb alapján. Statisztikailag a hozamok összefüggése a júliusi SPEI3 index-szel és az ugyancsak júliusi SPEI2 index-szel a legerősebb. Ezért ezek az indexek alkalmasak a mezőgazdasági aszály nyomon követésére a

Vajdaság területén. A 5.2. és a 5.3. ábra az SPEI3_{júl} és SPEI2_{júl} indexek szórását és hatványkitevős regressziós görbáját, valamint az átlagos kukorica hozamokat mutatja.



5.2. ábra Szórás-diagram és a hatványkitevős regressziós görbe, SPEI3_{júl}



5.3. ábra Szórás-diagram és a hatványkitevős regressziós görbe, SPEI2_{júl}

A Vajdasági Gazdasági Kamarának a szántóföldi növénytermesztés feltételeiről szóló jelentése (PKV, 2016) alapján készült a 5.2. táblázat, amelyben a kukorica vajdasági átlaghozamai, az átlagárak, a termelés értéke, a közvetlen költségek és a bruttó árrés nagysága szerepelnek. Az adatok átlagosak Vajdaság egész területére és a következő évekre vonatkoznak: 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 és 2014. A többi évre nem álltak rendelkezésre adatok. A termelés közvetlen költségei tartalmazzák a vetőmag, a műtrágya (NPK, UREA, KAN), a növényvédő-szerek, valamint a gázolaj költségeit. A vizsgált években a kukorica becsült nyereséges átlaghozama 3880 kg volt.

5.2. táblázat A kukorica termesztési költsége, a bruttó ár és a számított nyereséges hozam

	2007	2008	2009	2010	2011	2014
Átlaghozam (kg/ha)	4050	5235	5900	6710	5990	10000
Ár (RSD/kg)	14	10	9,4	18,3	15,7	13
Megtermelt érték (RSD /ha)	56700	52350	55460	122811	93908	130000
Termesztési költség (RSD /ha)	31399	42440	52593	43789	52702	70800
Bruttó ár és (RSD /ha)	25301	9910	2867	79022	41206	59200
Nyereséges hozam (kg)	2243	4244	5595	2393	3357	5446

Az előzetes számítások szerint a SPEI3 index július havi kritikus értéke 0,52, míg a SPEI3 index júniusi kritikus értéke -0.6. Az index ezen értékei alatt veszteségek keletkezhetnek a vajdasági kukoricatermesztésben.

Aszálykockázat becslés

A kockázat, a veszély és az érzékenységek fogalmát számos szerző tanulmányozta (pl. Blaikie et al. 1994, Knutson et al. 1998, Wilhite 2005, Greiving et al. 2006, Kumpulainen 2006, Petronijević et al. 2010, Bezdan 2014). A kockázat fogalmának egyik legegyszerűbb definíciója kiemeli, hogy a kockázat valamilyen esemény okozta kár és a veszteség valószínűségének a szorzata.

Az esemény valószínűsége a természeti veszély súlyosságától függ. Minél nagyobb a természeti veszély súlyossága, annál kisebb a bekövetkezési valószínűsége. A kockázat mértéke annak a veszélynek a mértéke, amely egy adott helyzetben felmerül. Thywissen (2006) szerint a veszélyes események bekövetkezésének kockázata a veszély előfordulásának valószínűsége és következményeinek kombinációja, és általában egész sor komplex paraméter területi függvényeként fejezhető ki, mint amilyenek a veszély, a sérülékenység, a kitettség és az ellenálló képesség.

Így a kockázat a bekövetkezés valószínűségétől, valamint egy adott esemény következményeinek intenzitásától függ. A kockázat kialakulásának lehetősége lehet nagyon gyakori, gyakori, ritka vagy semmilyen, a kockázat következményei pedig lehetnek katasztrofálisak, kritikusak, kicsik vagy jelentéktelenek.

Többféle kockázatbecslési módszer létezik, ezek közül az egyik leggyakrabban alkalmazott módszer a Blaikie et al. (1994) által javasolt képlet alapján, ahol a kockázat egyenlő a veszély és a sérülékenység szorzatával:

Kockázat = veszély x sérülékenység

A veszély olyan potenciálisan káros fizikai esemény, jelenség vagy emberi tevékenység, amely életvesztést, sérülést, vagyoni károkat, társadalmi vagy gazdasági változásokat, illetve környezeti károkat idézhet elő (UNISDR, 2004).

A veszély különböző eredetű lehet: természetes eredetű vagy emberi tevékenységből eredő, amely leggyakrabban emberi felelőtlenség következménye. A természeti veszélyek természeti jelenségekből fakadnak és a következők szerint csoportosíthatók (UN/ISDR, 2004):

- geológiai veszélyek (földrengés, földcsuszamlás, cunami, stb.);
- hidrometeorológiai veszélyek (árvizek, aszály, viharok, ciklonok, hurrikánok, stb.) és
- biológiai veszélyek (környezetszennyezés, járvány, kártevő-támadás, stb.).

A sérülékenység rendkívül fontos paraméter a kockázatértékelés során. A sérülékenység fogalmának számos eltérő értelmezése és meghatározása van, attól függően, hogy milyen környezetben használják. A sérülékenység a potenciális kárra utal és előre mutató változó, és ilyen értelemben a sérülékenység lehetővé teszi, hogy megijósoljuk, mi történhet egy adott népességgel, bizonyos kockázatok és veszélyek esetén (Cannon et al., 2005). Általános értelemben a sérülékenységet úgy lehet meghatározni, hogy károsodásáról a különböző eredetű veszélynek, nyomásnak vagy stresszornak való kitettség milyen mértékben károsíthat egy rendszert (Turner, 2003). A sérülékenység több dimenziójú (fizikai, társadalmi, gazdasági, környezeti tényező, intézményi és emberi) és többségük nehezen számszerűsíthető.

Vizsgálataink során a sérülékenység-, veszély- és kockázat-becslést GIS környezetben végeztük. Osztályozási, újraosztályozási és overlay technikákat alkalmaztunk, a rétegek súlyának együtthatóit pedig az analitikai hierarchia eljárás (AHP) segítségével határoztuk meg. Ahhoz, hogy a GIS rendszerben elvégezhessük a különböző típusú adatokat tartalmazó rétegek átfedését, a rétegeket standardizálni kellett, illetve meghatározott kritériumok szerint osztályozni kellett őket. A rétegek meghatározott kritériumok szerinti osztályozása az összes réteget azonos adattípussal és azonos tartományba rendeli. Ebben az esetben a bemeneti rétegek az osztályozás során 1 és 5 közötti egész számú értékeket kapnak, ahol az 1 a legalacsonyabb sebezhetőséget, veszélyt vagy kockázatot jelzi, 5 pedig a legnagyobb mértékűt.

Aszályérékenység becslés

A terület aszályal szembeni sérülékenységére ható tényezők, illetve mutatók a Vajdaság területén tapasztalható természeti körülmények és antropogén hatások alapján lettek meghatározva. Az aszály kialakulását befolyásoló, illetve az aszály hatását mérsékelő tényezőket a hozzáférhető adatok és korábbi az aszályérékenységgel kapcsolatos kutatások alapján határoztuk meg. A vizsgálat során a mezőgazdasági aszályérékenység következő elemeit vettük figyelembe: a talaj termőképessége, a növények öntözési igénye és a talajfelszín használatának módja.

A talaj termőképessége

A talaj termőképessége a termőföld azon képessége, hogy meghatározott hozamot biztosítson (Živković et al., 1972). Gyakorlatilag a talaj termőképessége, ha a talaj el van látva tápanyagokkal, nem szikes, nem lúgos vagy elláposodott, meghatározható a talaj típusa, altípusa (mechanikai összetétele) és a kőzetmélység alapján. A talajok termőképességének osztályozása ezen kritériumok alapján történt. A talajok négy osztályba lettek besorolva:

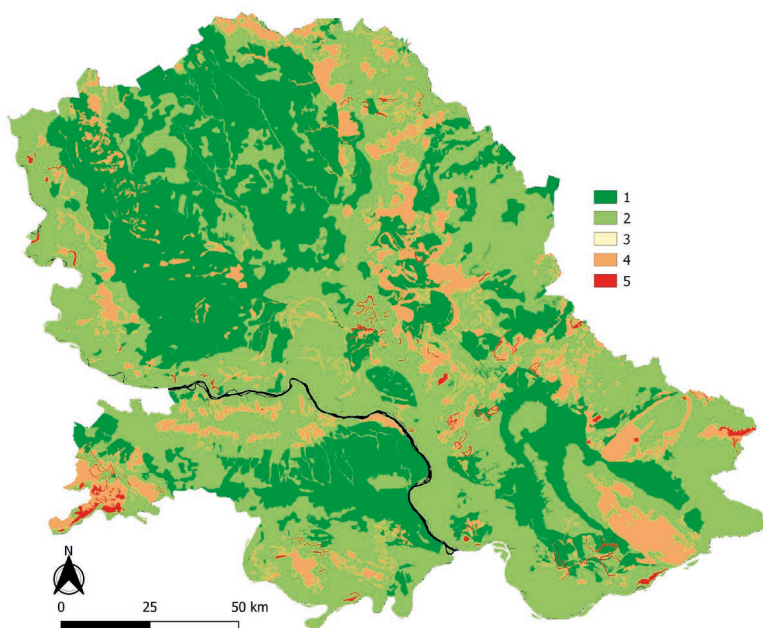
- **I. osztály** – a legstabilabb és legnagyobb termőképességű talajok;
- **II. osztály** – valamivel kisebb termőképességű talajok, amelyeken megfelelő talajműveléssel, nagyobb mennyiségű tápanyag felhasználásával, a szükséges talajnedvesség mellett magas hozamok érhetők el;
- **III. osztály** – gyenge termőképességű talajok, leginkább gyümölcsösnek, szőlőnek, legelőnek, erdőnek használható;
- **IV. osztály** – nagyon alacsony termőképességű talajok, amelyeknél a talajjavítási intézkedéseknek nincs jelentősége a növénytermesztés szempontjából, legelőnek, vagy erdőnek használható.

A talajok termőtulajdonságainak az osztályozása (5.4. ábra) a következő módon történt: a legjobb termőtulajdonságú területek 1-es érzékenységet kaptak, a valamivel gyengébb termőképességű talajok 2-es érzékenységet, a gyenge termőképességű talajok 4-es érzékenységet, míg a nagyon alacsony termőképességű talajok 5-ös érzékenységi besorolást kaptak. (5.4 ábra) A vajdasági talajok 34 százaléka magas termőképességgel (1) rendelkezik, a talajok 54 százaléka valamivel gyengébb termőképességű (2), 11 százaléka gyenge termőképességű (4), az 5-ös osztályába, a nagyon gyenge termőképességű talajok közé pedig a talajok 1%-a lett besorolva.

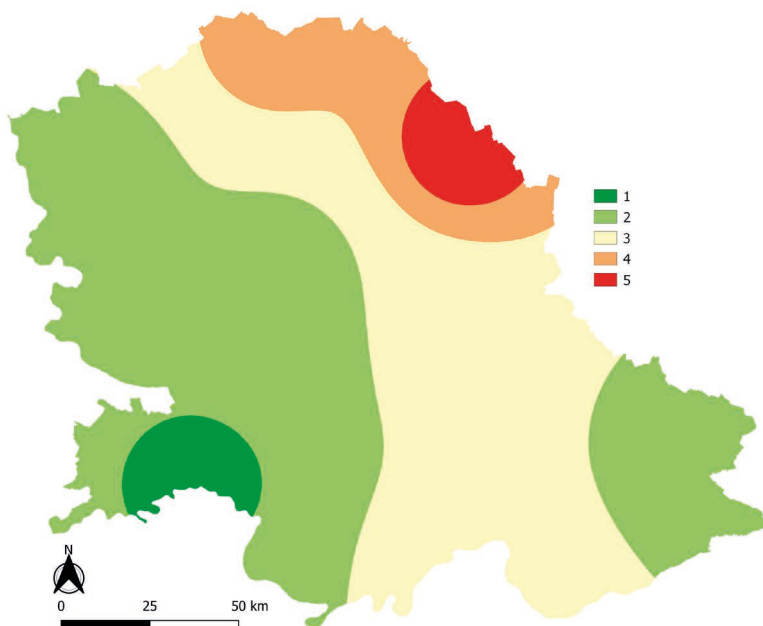
A termesztett növények öntözési igénye

A termesztett növények öntözési igényét a WinSAREG szimulációs modell felhasználásával határoztuk meg (Pereira et al., 2003; Parades és Pereira, 2010), amely az evapotranszpiráció, vízmérleg és az öntözési igény kiszámításának FAO-56-os módszerén alapul (Allen et al., 1998). Az öntözési igényt kilenc termesztett növényre számoltuk ki (kukorica, szója, cukorrépa, napraforgó, burgonya, borsó, káposzta, szőlő és alma) kilenc vajdasági meteorológiai állomásra (Óbecse, Nagyikinda, Palics, Rimski Šančevi, Mitrovica, Zombor, Versec, Nagybecskerek és Belgrád) 1971–2017 közötti időszakra. A növények evapotranszpirációját a növény fejlődésének bizonyos szakaszaira vonatkozó növényi együtthatók alapján számítottuk. A mezőgazdasági aszályra való érzékenység becslése érdekében az átlagos öntözési igényeket öt equidisz táns osztályba soroltuk, 1-től 5-ig terjedő értékekkel minden növény esetében. Ezután összeadtuk őket, majd újabb öt equidisz táns osztályba soroltuk őket. Ezzel egy olyan térképet kapunk, amely integrálja mind a kilenc elemzett növény

öntözési igényeit, és e kritérium alapján lényegében a mezőgazdasági aszályra való érzékenység térképét mutatja (5.5. ábra).



5.4. ábra A vajdasági talajok termőképesség szerinti osztályozása



5.5. ábra A termesztett növények átlagos öntözési igényeinek osztályozott térképe

A területhasználat típusa

A területhasználat típusának értékelése a CORINE Land Cover 2012 (CLC2012) adatbázis alapján készült.

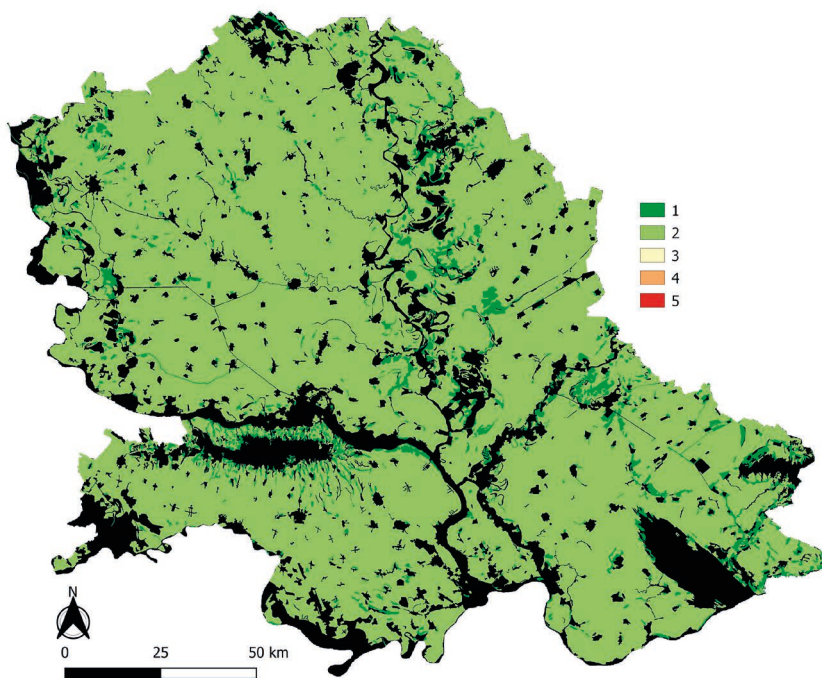
A CLC2012 adatbázis osztályozását úgy végeztük, hogy a „Rét/legelő” és „Elsődlegesen mezőgazdasági területek, jelentős természetes formációkkal” besorolású területek értékét 1-ben határoztuk meg, amely az aszályérzékenység legalacsonyabb értékét jelzi. A „Nem-öntözött szántóföldek”, a „ Szőlők”, a „Gyümölcsösök, bogyósok”, valamint a „Komplex művelési szerkezet” a 2-es értéket kapta, ami valamivel nagyobb fokú érzékenységet jelez, míg a többi osztályt kihagytuk a mezőgazdasági aszálykockázat értékeléséből (5.6. ábra). Ide tartoznak a beépített és mesterséges területek, az erdős területek és a vízfelületek. A legelők és azok az elsődlegesen mezőgazdasági területek, melyeken nagyobb területen képviselteti magát a természetes vegetáció – alacsonyabb aszályérzékenységi indexet kaptak, mint a többi mezőgazdasági terület, mivel ezeken a növényzet jobban alkalmazkodik az időjárási körülményekhez (Wilhelmi és Wilhite, 2002).

A súlyozó tényezők értékének meghatározása

Bizonyos sérülékenységi és kockázati tényezők - azok előfordulásának természete miatt - nagyobb vagy kisebb hatással lehetnek a kockázatértékelés végső eredményére, ezért megfelelő súlyozó tényezőket kell hozzárendelni. Ebben a tanulmányban a súlyozó tényezők meghatározásához az analitikus hierarchia-eljárást (AHP) alkalmaztuk. Az analitikus hierarchia-eljárás - AHP (Saaty, 1980) a többtényezős elemzések egyik leggyakrabban alkalmazott módszere a mezőgazdasági döntéshozatal támogatásához (Matić-Kekić és Draginčić, 2013). Az AHP eljárás a döntéssel kapcsolatos problémákat hierarchikus sorba állítja, amelynek csúcsán a cél, alatta a kritériumok, legalul pedig az alternatívák helyezkednek el. A kritériumokat páronként értékelik a célhoz viszonyítva, majd pedig az alternatívákat is minden egyes kritériumhoz képest. Ez azt jelenti, hogy az értékeléseket az azonos hierarchia szintű elemek magasabb szintű elemekkel történő összehasonlításával végzik el. Minden összehasonlításhoz számértéket rendeltünk a relatív fontosságot jelző Saaty-féle skála alapján (Draginčić et al., 2011). A súlyozott értékek AHP-vel történő meghatározásának részletes leírása megtalálható a szakirodalomban (Blagojević et al., 2016a; Blagojević et al., 2016b; Blagojević et al., 2016c; Srdjević et al., 2015; Blagojević et al., 2014; Bezdan et al., 2019).

Jelen tanulmány céljaira az alternatívák – érzékenységi tényezők (a talaj termőképessége, a terület használatának módja, a termesztett növények öntözési igénye) közötti összehasonlítás a szakirodalomban található adatok és a szakértők véleménye alapján történt. Az AHP módszer alkalmazása alapján az aszályérzékenység tényezői a következő súlyozott értékeket kapták: a talaj termőképessége (0.5), a növények öntözési igénye (0.4) és a földterület használatának módja (0.1).

Az érzékenységi tényezők súlyozásának eredményei az AHP eljárás alapján azt mutatják, hogy a mezőgazdasági aszályérzékenységre a legnagyobb hatással a terület termőképessége és a termesztett növények öntözési igénye van, míg a területhasználat típusa módja jóval kisebb hatással bír.

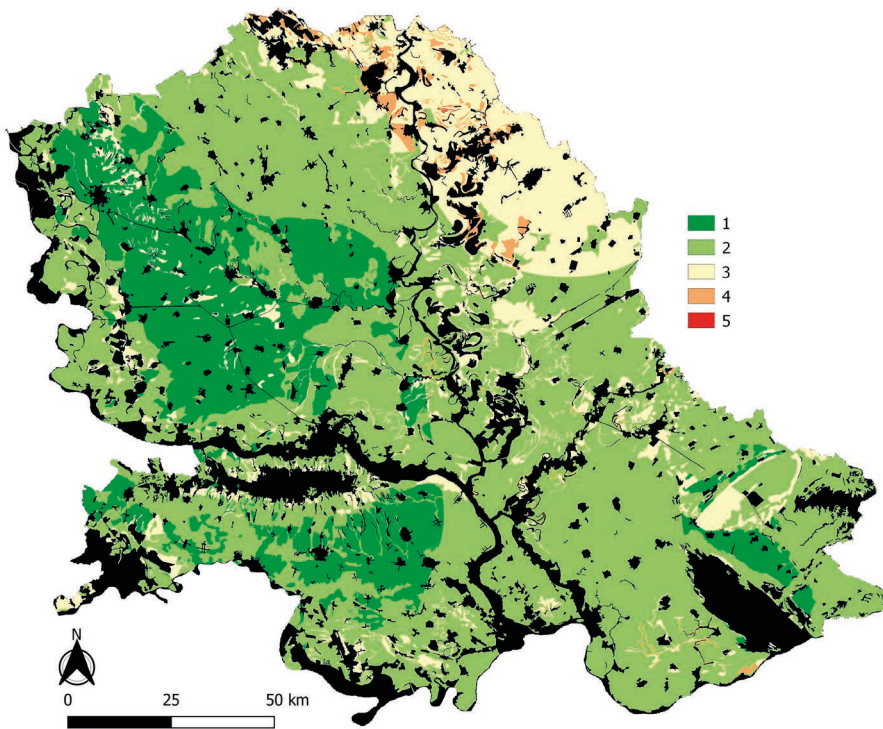


5.6. ábra A területhasználat osztályozott térképe

A mezőgazdasági aszályérzékenység térképe

A Vajdaság mezőgazdasági aszály-érzékenység térképe a megfelelő súlyozott értékekkel szorzott aszályérzékenységi tényezők raszter-rétegeinek (termőföld tulajdon-ságai, domborzati viszonyok, területhasználat használatának módja, a termesztett növények öntözési igénye) GIS rendszerben történő összeadásával és öt egyenlő osztályba történő sorolásával készült el (5.7. ábra).

A Vajdaság területének nagyobb része, a terület mintegy 54 százaléka alacsony aszály-érzékenységi értékekkel rendelkezik (1. és 2. érzékenységi osztály). A leg-alacsonyabb érzékenységi osztályba tartozó területek a Szerémségben, valamint Bácska középső és nyugati részein találhatók, ahol nagyon kedvezőek a feltételek, mivel alacsony a termesztett növények öntözési igénye és kedvezőek a talaj jellemzői. Az aszály-érzékenység szempontjából Vajdaság többi területéhez képest a legkedvezőtlenebb térségek a Bánság északkeleti részei, elsősorban a kedvezőtlen éghajlati és talajtani tulajdonságok miatt.



5.7. ábra Mezőgazdasági aszály-érzékenységi térkép

Az aszályveszély becslése

Az aszályveszély becsléséhez szükség van a megfelelő mutatók és a megfelelő elemzési módszerek kiválasztására. Ebben a tanulmányban a július havi SPEI3 indexet elemeztük, mivel a korábbi elemzések azt mutatták, hogy ez az egyik legmegfelelőbb index a mezőgazdasági aszály elemzéséhez. Összességében nézve a veszély számszerűsíti egy potenciálisan káros esemény bekövetkezésének valószínűségét. A veszély becsülhető egy potenciálisan káros esemény intenzitása és bekövetkezésének valószínűsége alapján. Ezen az elven alapul a Drought Hazard Index – DHI (Dabanli, 2018; Kim et. al., 2015; Shahid és Behrwan, 2008). A kialakulás valószínűségét az egyes kategóriájú aszályok megjelenési gyakorisága alapján határozzuk meg (Sonmez et al. 2005). Mint az előzőekben jeleztük, az aszályt a SPEI3 július havi indexe alapján vizsgáltuk. A DHI számítási eljárás szerint az aszálykategóriákhoz súlyértékeket kaptak, majd pedig minden aszálykategória megfelelő minősítést kapott az előfordulás gyakoriságától függően (5.3. táblázat). Az volt az elv, hogy az intenzívebb aszálykategóriákhoz nagyobb súlyértékeket társítottunk. Továbbá, ha egy területen gyakran előfordul az aszály, akkor magasabb értéket kell hozzárendelni.

5.3. táblázat Az aszálykategóriák súlyozott értékei és osztályozása

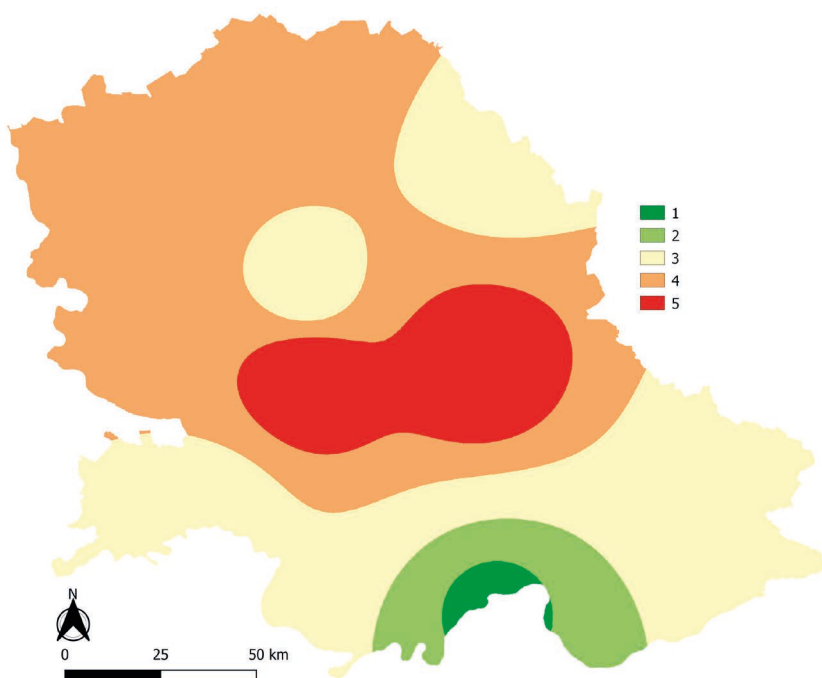
SPEI3 Jul	Aszálykategória	Súlyozó tényező (W)	Előfordulás gyakorisága	Osztályozás (R)
0 - 0.99	Normál / enyhe aszály (ND)	1	Alacsony	1
			Közepes	2
			Magas	3
			Nagyon magas	4
-1.00 -1.49	Mérsékelt aszály (MD)	2	Alacsony	1
			Közepes	2
			Magas	3
			Nagyon magas	4
-1.50 – 1.99	Súlyos aszály (SD)	3	Alacsony	1
			Közepes	2
			Magas	3
			Nagyon magas	4
< -2.00	Extrém aszály (ED)	4	Alacsony	1
			Közepes	2
			Magas	3
			Nagyon magas	4

A DHI a súlyozó tényező értéke és az osztályozás alapján alakult ki a következők szerint:

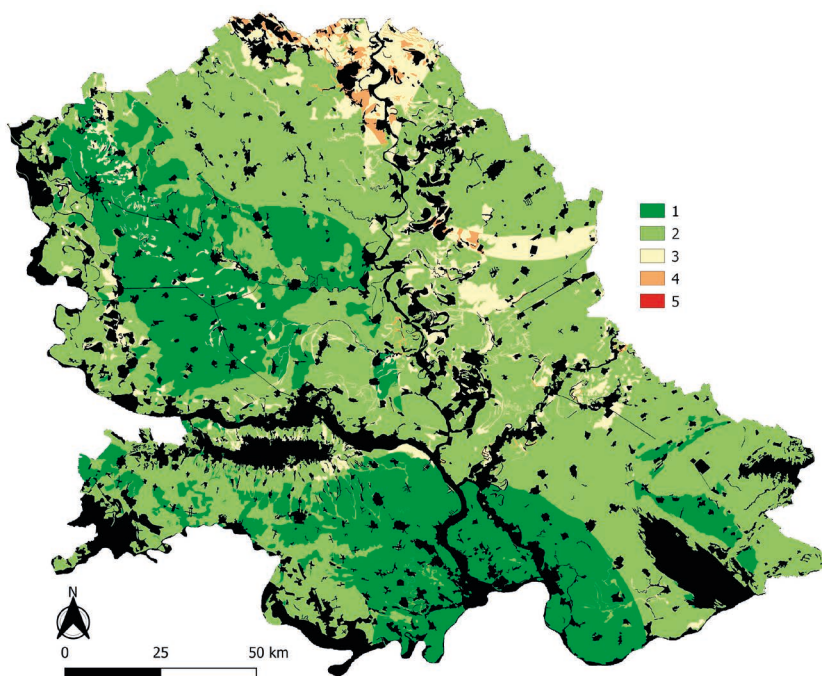
$$DHI = (NDW \times NDR) + (MDW \times MDR) + (SDW \times SDR) + (EDW \times EDR),$$

ahol az ND, MD, SD és ED az aszálykategóriák, a W a megfelelő súlyozó értéket jelöli, az R pedig az osztályozás során kapott érték.

A DHI értékét külön kiszámítottuk minden meteorológiai állomásra az 1971 és 2017 közötti időszakra. A kapott DHI értékeket 1-5 osztályokba soroltuk az ahol az 1 a legalacsonyabb veszélyt, az 5 pedig a legnagyobb veszélyt jelzi. Az eredményt a 5.8. ábrán látható térkép tartalmazza. Látható, hogy a legnagyobb veszélynek a Vajdaság középső részei vannak kitéve, míg az aszályveszély a déli részeken a legkisebb.



5.8. ábra Aszályveszély a DHI indexek alapján



5.9. ábra A Vajdaság aszálykockázat-bebecslés térképe

Mezőgazdasági aszálykockázat-becslés

A mezőgazdasági aszálykockázat-becslés azon a módszeren alapul, mely szerint a kockázat a veszély és az érzékenység szorzata. Az előző lépésekben megtörtént a mezőgazdasági aszály-érzékenység és –veszély becslése. Ezeknek a rétegeknek a térinformatikai rendszerben történő átfedésével, szorzásukkal és 5 osztályba sorolásukkal megkaptuk a Vajdaság területére vonatkozó aszálykockázat-becslési térkép (5.9. ábra).

Az elemzések szerint a legnagyobb mértékű mezőgazdasági aszálykockázat, a kockázat 4. szintje a a Vajdaság északi és északkeleti részein jellemző. Ezeken a vidékeken a többi területhez képest a legmagasabb a veszély becsült értéke és magas az aszályérzékenység a talajok rosszabb tulajdonsága, valamint a termesztett növények magasabb öntözési igénye miatt. A Vajdaság területének – a beépített és mesterséges területek, az erdős területek és a vízfelületek nélkül – 2 százaléka a 4. kockázati osztályba tartozik. A Vajdaság területének 8% a 3. kockázati osztályhoz tartozik, a terület 64% a 2., míg a terület 26 százaléka az 1. (vagyis legkisebb a mezőgazdasági aszály kockázatú) kategóriába tartozik. A becsült kockázat az éghajlati viszonyok és a talajtani feltételek kedvező kombinációjának köszönhetően a legkisebb Vajdaság északnyugati területén, Zombor környékén, valamint Vajdaság déli részein, Mitrovicától Belgrádon át egészen Versec környékéig.

6. Az aszály és a belvíz társadalmi és gazdasági következményei a Vajdaságban/Szerbiában

Nagy Imre; Vuksanović, Gordana; Mesaroš, Minučer; Marković, Slobodan; Gavrilov, Milivoj; Pavić, Dragoslav; Basarin, Biljana; Lukić, Tin

Bevezetés

A számszerű adatok elemzése azt mutatja, hogy az elmúlt években jelentősen megnőtt a természeti katasztrófák száma. Míg 2007 és 2016 között összesen 354 természeti katasztrófát jegyeztek fel, addig 2017-ben számuk már elérte a 335-öt (CRED 2018). Globálisan nézve a legnagyobb problémákat az árvizek, a viharok, a földrengések, a szélsőséges hőmérsékletek, a tömegmozgások, az aszály, a tűzvészek és a vulkánkitörések okozzák. Ezek közül 1998 és 2017 között a természeti katasztrófák 4,8%-át képezte az aszály (CRED 2018), amivel a 6. helyen áll. Az aszály bár jóval ritkábban fordul elő, mint a viharok és az árvizek, de az aszály által érintett népesség száma jelentős. Például 2017-ben a Földön feljegyzett 126 árvíz összesen 55 millió embert veszélyeztetett, míg ugyanebben az évben 7 aszály-esemény 10 millió embert érintett hátrányosan. Az aszályok mind súlyosabb következményeiről tanúskodnak a gazdasági veszteségek becsült adatai is. Tíz év alatt, 2007-től 2016-ig az aszályok világszerte 7,8 milliárd dollár veszteséget okoztak, míg egyetlen évben, 2017-ben a gazdasági veszteségek elérték a 2,4 milliárd amerikai dollárt.

Más természeti katasztrófáktól eltérően az aszály lassan alakul ki és sokáig tart. Következményei nem csupán az aszály intenzitásától függenek, hanem az adott ország gazdasági fejlettségi fokától is. Míg a gazdagabb országoknak módjukban áll mérsékelni az aszály következményeit és könnyebben védekezhetnek ellene, addig a szegényebb országok számára az aszály gyakran élet-halál kérdést jelent, hiszen nem rendelkeznek olyan erőforrásokkal, amelyek mérsékelnék az emberekre és a gazdaságra gyakorolt hatását.

A Szerb Köztársaságban az aszályok az ország északkeleti, keleti és déli részében a leggyakoribbak (A környezetvédelmi mutatók nemzeti jegyzékéről szóló szabályzat, 2011). A globális középhőmérséklethez képest Szerbiában gyorsabb ütemű a felmelegedés. Várható, hogy a 21. század végén Szerbiában a középhőmérséklet 6°C-kal lesz magasabb, míg a globális középhőmérséklet 4,5°C-kal fog emelkedni (Vuković, 2006). Ez pedig azt jelenti, hogy a jövőben a térségben nőni fog az aszály gyakorisága és egyre angstsúlyosabban jelentkeznek káros következményei.

Az aszály mellett a gazdaságra kedvezőtlen hatása van a felszínen megjelenő belvizeknek is. A belvizek két forrásból táplálkoznak: kialakulhatnak esőből és/vagy az elolvadt hóból, vagy a talajvíz szintjének jelentős emelkedése révén is. Leggyakrabban tavasszal jelentkeznek, és az aszályhoz hasonlóan jelentős károkat okoznak a

mezőgazdaságban. A két jelenséget az kapcsolja össze, hogy kellő szervezethez és megfelelő műszaki háttérrel a belvizeket fel lehet használni az aszály káros következményeinek a megelőzésére. Azonban a felesleges belvizek nincsenek eléggé kihasználva, amit az is jelez, hogy 2007 és 2013 között a teljes vízkivételből a talajvizek mindössze 12-14%-ot tettek ki, tehát ez az öntözésre legkevésbé használt vízfajta. (A teljes vízkivétel adatai 2007-2013 között [a vízi energia előállítására felhasznált vizek kivételével]).

A kutatások eredményei szerint a klímaváltozás és a természeti katasztrófák következményeit a lakosság három szinten érzékeli: az egyén / család, az önkormányzat és a tágabb társadalmi közösség szintjén (Vuksanović és Nagy, 2017).

- Az egyén szintjén kiemelkednek az egészségügyi panaszok és a gazdasági bizonytalanság érzete.
- A helyi hatalom képviselői kiemelik az önkormányzat szintjén tapasztalható gondokat: az épített környezet és a vetések pusztulását, a lakosság elszegényedését, illetve a szociális szükséghelyzetbe kerülők számának a növekedését.
- A tágabb társadalmi közösség szintjén pedig már felismerhetővé válnak a természeti katasztrófák által előidézett gazdasági, szociális, demográfiai és környezeti problémák.

A természeti katasztrófák társadalmi-gazdasági következményeit meghatározó tényezők

Az elemi csapások társadalmi-gazdasági következményeit meghatározó tényezők három csoportba sorolhatók: a lakosság szociális-demográfiai jellemzői; a klímaváltozásról és természeti katasztrófákról való tájékozottság; és a lakosság klímaváltozással és természeti katasztrófákkal kapcsolatos oktatása.

A lakosság szociális-demográfiai jellemzői

Az országos szintű felkészületlenség következménye az önkormányzatok alkalmazkodó-képességének a hiánya. Az aszály és a felesleges belvizek következményei nem csupán a közvetlen anyagi károkkal és emberáldozatokkal mérhetők, hanem a közvetett következményeken keresztül is, mint például a mezőgazdasági termés kiesés, és ennek következtében a falvak elnéptelenedése is. Településeink szociális és demográfiai jellegzetességei megnehezítik a természeti katasztrófákkal való szembeesülést. A leginkább érzékelhető problémák (Vuksanović és Nagy, 2017):

- A falvak lakosságának csökkenése és elöregedése. Például Módoson, a 2005. évi árvíz idején a lakosság 30%-a tartozott az idősek korcsoportjához (Vuksanović, 2011).

- A falusi közösségek elhagyása és a lakosság koncentrációja az urbanus közösségekben.
- A folyamatos egészségi ellátásra szoruló népesség magas részaránya.
- A mozgáskorlátozott lakosság magas részaránya. Például az árvíz idején Módoson 60 mozgásképtelen lakos élt (Vuksanović, 2011).
- Nem eléggé fejlett infrastruktúra (utak hiánya, vagy rossz minőségű utak, kiépítettlen vagy elöregedett vízvezeték- és csatornahálózat...).
- Nincsenek beruházások a meglévő infrastruktúrába.
- Az elnéptelenedés miatt bizonyos intézmények bezárnak, az elsők között az oktatási és a művelődési intézmények.
- Az oktatási és művelődési intézmények bezárásával csökken a kisszámú lakosság oktatásának a lehetősége.
- Az említett változások következtében nehézkessé válik a természeti katasztrófákkal való szembesülés, hiszen az érintett kisszámú népesség a közép- és időskorú lakosságra szűkül.
- A megműveletlen, parlaggá vált mezők tűzveszélyt jelentenek.
- A természeti katasztrófák során használható gépállomány előregszik, nem kerül felújításra, funkcióját veszíti.
- A lakóépületek fenntartás híján tönkremennek, és így sérülékenyebbé válnak természeti katasztrófák idején.
- A háztartások többségének rossz anyagi helyzete miatt az aszály és belvíz következményei csak lassan enyhíthetők.

A klímaváltozással és természeti katasztrófákkal kapcsolatos tájékoztatás

A tájékozottság befolyásolja a kellő időben történő felkészülést, az anyagi és emberi veszteségek csökkentését, a lakosság és az ingóságok evakuálásának hatékonyságát. Előzetes felkészülés nélkül nagyobbak a veszteségek és a kialakuló stressz szintje is.

A Magyarokanizsán végzett felmérés szerint a megkérdezettek többsége (71,5%) úgy vélte, hogy az illetékes intézményektől nem kap elég információt a potenciális természeti katasztrófáról. A megkérdezetteknek több mint a fele (55,1%) nem tudja hol kaphat felvilágosítást a lehetséges természeti katasztrófákról és a ezekre való felkészülés módjáról (Vuksanović és Nagy, 2017).

A lakosság oktatása a klímaváltozásról és természeti katasztrófákról

Szerbiában a lakosság klímaváltozással és természeti katasztrófákkal kapcsolatos felvilágosítása vagy teljesen hiányzik, vagy csak az önkéntes egyesületek, mint pl. tűzoltó-egyesületek tevékenységéhez köthető. Például a Magyarokanizsai Községi Tanácsa egy tagja szerint Magyarokanizsán a helyi lakosság rendkívüli helyzetekben történő védekezéssel és védelemmel kapcsolatos felvilágosítását „az önkéntes tűzoltó-egyesületek végzik. Ezeknek összesen 220 tagjuk van, akik rendkívül jól képzetek a védelmi-mentési feladatok ellátására” (Vuksanović és Nagy, 2017).

A Magyarokanizsai Mezőgazdasági Iskola igazgatója szerint, ha van is ilyen irányú kezdeményezés az illetékes intézmények részéről, azokat a lakosság nem fogadja el. Elmondta, hogy „a Környezetvédelmi Minisztériumtól egy kiadványt kaptunk, amelyet minden gyerek megkapott, hogy hazavigye. Megtalálható benne a különböző rendkívüli helyzetek és a bennünket fenyegető potenciális veszélyek leírása. A broszúra tartalmazza az ilyen helyzetekben hívható telefonszámokat. A kiadványokat a tanulók hazavitték a szüleiknek, de a szülőket nem érdekelte ez a téma. A szülői értekezleteken csak az osztályzatok iránt érdeklődnek.”

A lakosságnak a természeti katasztrófák idején tevékenykedő szervezetek munkája iránti érdektelenségére utal az is, hogy a megkérdezettek 73,7%-a soha nem vett részt megelőző jellegű tevékenységekben, míg a megkérdezettek 88%-a nem tagja sem polgárvédelmi szervezetnek, sem önkéntes tűzoltó-alakulatnak (Vuksanović és Nagy 2017).

A felmutatott egyéni érdektelenség mellett a megkérdezettek 62%-a úgy vélte, hogy nincs eléggé felkészítve a természeti katasztrófákkal való szembesülésre, míg 33,2%-uk szerint egyáltalán nincsenek felkészítve ezen helyzetekre.

Magyarokanizsán a lakosság felvilágosítása az elemi csapások során szükséges teendőkről az általános és a középiskolákban valósul meg, a tervekben pedig szerepel az iskoláskor előtti intézmények bevonása is. Az iskolákban tűzvédelmi gyakorlatokat tartanak: „Fontos a tanulókat megismertetni a potenciális tűzveszélyekkel, mivel azok aszály idején nagyon veszélyesek lehetnek. Egy szándékosan eldobott cigarettavég is igazi katasztrófát okozhat. Rendkívüli helyzetként éljük meg az aszályt, továbbá az átlagon felüli csapadékos tavaszt is. Az árvízvédelmi töltés miatt maga a folyó nem veszélyeztet bennünket, de a mezőkön mégis megjelentek a vizek a talajvízszint emelkedése következtében. Az emberek építkeznek, hogy elállják a folyó útját, azonban a víznek valahová el kell folynia, s ha ezt nem teheti meg természetes útján, akkor kitör a városokba és a mezőkre” (mondta a Magyarokanizsai Mezőgazdasági Iskola igazgatója).

A klímaváltozással kapcsolatos tudatosság

Leginkább a különböző médiumok terjesztik a klímaváltozással és következményeikkel kapcsolatos ismereteket: „Ami a globális klímaváltozást és kiváltó okait illeti, a számos tudományos-ismeretterjesztő műsornak köszönhetően szinte mindenki rendelkezik bizonyos szintű ismeretekkel. Személyes tapasztalataim szerint azonban az emberek ezt a jelenséget nagyon távolinak és elvontnak tartják. Sokan úgy vélik, hogy életmódjuk nincs hatással az általános folyamatokra, ami hosszabb távon nem helyes viszonyulás” (mondta a polgári egyesület képviselője, Vuksanović és Nagy 2017 szerint).

Az említett kutatás szerint a klímaváltozások hatásait a mindennapi életre sokkal jobban érzékelik a nők, mint a férfiak, illetve érzékenyebbek az idősebbek, mint a fiatalok.

A lehetséges katasztrófával kapcsolatos tudat hiányából adódóan annak bekövetkeztekor teljes a felkészületlenség és a zűrzavar. Az evakuálás, ha szükség van rá, csak a lakosság kimenekítésére szorítkozik.

A potenciális klímaváltozás társadalmi és gazdasági következményei

Vannak olyan kutatások (pl. WAHASTRAT¹), amelyben a lakosság véleményét vizsgálták az aszályról, mint elemi csapásról. Megkérdezték mivel magyarázzák az aszály kialakulását, milyenek az aszály következményei (pl. erősödnek-e a következmények, melyek lehetnek a legfontosabb aszály enyhítésére irányuló lépések, hogyan lehetne az aszály következményeit kezelni), milyen hatása van az aszálynak a helyi lakosság életére, milyen hatással van a mezőgazdaságra, és milyen mértékben tartható fenn a jelenlegi mezőgazdasági szerkezet.

A felesleges belvizekkel kapcsolatos kutatás (MERIEXVA²) azt elemezte, hogy a klímaváltozás hogyan kapcsolódik a belvizek megjelenéséhez, a lakosság mit gondol az árvizek következményeiről és a belvizekről, illetve milyen megoldásokra számít.

Egy harmadik kutatás a „Klímaváltozás – Gazdaság – Társadalom” során vizsgálták:

- A lakosság álláspontját (a klímaváltozáshoz való viszonyulást a többi társadalmi problémához képest, kinek kellene részt vennie a klímaváltozás megoldásában);
- A klímaváltozás észlelését és érzékelését;
- Saját (anyagi) részvállalást a klímaváltozás okozta gondok megoldásából;
- Hogyan viszonyul a lakosság a klímaváltozásokhoz (Czirfusz et al. 2015).

1 Water shortage hazard and adaptive water management strategies in the Hungarian-Serbian cross-border region/ Vízihiány és adaptív vízgazdálkodási stratégiák a magyar-szerb határ menti régióban

2 Measurement, monitoring, management and Risk assessment of inland Excess Water in South-East Hungary and North Serbia / Belvízi monitoring, menedzsment és kockázatértékelés Délkelet-Magyarországon és Észak-Szerbiában

Az aszály, illetve a felesleges belvizek súlyos következményekkel járnak a mezőgazdaságra nézve. Minél kifejezettebb az aszály, és minél kevésbé vannak kihasználva a belvizek, annál kedvezőtlenebb a hatásuk a mezőgazdasági kultúrák növekedésére és fejlődésére. Hogy az aszály kedvezőtlen hatása kifejezésre jut-e a mezőgazdasági tevékenységben, az függ a talaj jellemzőitől, a talajvíz szintjétől, a csapadékhiánytól, a termesztett növénytől, a hőmérséklettől, a talajműveléstől, stb. Ha összehasonlítjuk a bő terméssel jellemezhető 1991. évet és az aszályos 2003. évet, akkor alapvetően megjelennek különbségek a termés hozamokban és termés veszteségben.

1. táblázat Szántóföldi növények éves terméshozamai és gazdasági jellemzői a Vajdaságban

Termesztett növény	Hozam (t/ha)		Termelési érték (ezer US\$)		Termelési veszteség (ezer US\$)
	1991	2003	1991	2003	
Búza	4,5	2,2	351.000	171.600	179.400
Kukorica	5,9	3,2	757.030	384.930	372.100
Napraforgó	2,2	1,8	59.400	48.600	10.800
Szója	2,6	1,7	93.236	60.960	32.276
Cukorrépa	44,9	27,0	60.615	36.450	24.165
ÖSSZESEN			1.323.272	704.543	618.741

Forrás: Jaroslav Černi Vízügyi Intézet, Vízellátási Intézet, Szerbia Vízi Erőforrásainak Igazgatósága, 2009.

Sajnos nemcsak a terméshozamot és a termés minőségét befolyásolja az aszály és a belvíz. Az *Agroklub* on-line lapon az aszálytal kapcsolatban 2015-2018 folyamán megjelent cikkek elemzése ezen természeti katasztrófák társadalmi következményeinek egész sorát tárja fel. A megállapítások a gazdák, a mezőgazdasági szervezetek tapasztalatain és a különböző szintű becsléseken alapulnak.

A felesleges belvizek társadalmi és gazdasági következményeiről szerény adatok állnak rendelkezésre, valójában hiányoznak a módszeres, interdiszciplináris tudományos kutatások.

Az aszály társadalmi következményeinek a kutatásakor figyelembe kell venni, hogy annak hatását fokozzák a kísérő jelenségek, a jégverés és a viharos szelek is. Legjelentősebb következményként kiemelhető:

- Csökkennek a hozamok, gyengébb a termés minősége (csökkenő beltartalom);
- Az újonnan telepített ültetvényeken a fiatal növények kiszáradnak, az idősebb ültetvényeken a levelek és fiatal hajtások elszáradnak;
- A júliusi és augusztusi aszály kihat a gyümölcsfák rügyképződésére;
- Különböző mezőgazdasági növénybetegségek jelentkeznek;
- Romlik a silótakarmány mennyisége és minősége;

- Szegényesek a legelők;
- A takarmány csökkenő mennyisége megnehezíti az állatállomány etetését, tenyésztési lehetőségeit;
- A csökkenő kínálat miatt nő a piacon a mezőgazdasági termékek ára;
- A mezőgazdasági termékek árnövekedése csökkenti az alsóbb társadalmi rétegek vásárló-erejét;
- Aszály idején nő a tüzesetek száma;
- A bizonytalan termelés és a gyakori veszteségek miatt lemondanak a mezőgazdasági termelésről, csökken a megművelhető földterület és az állatállomány.

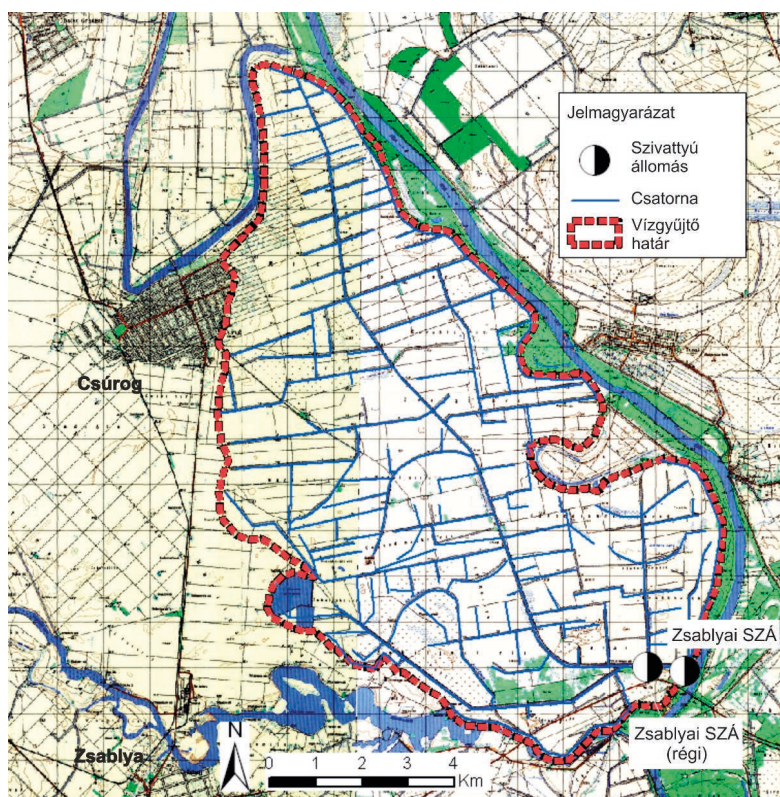
Figyelembe véve azt, hogy folyamatosan szembe kell néznünk az aszályal és a belvizekkel, olyan társadalmi-gazdasági programokat kell kifejleszteni, amelyek mérséklék az aszály káros következményeinek kialakulását a belvizek aszályok idején történő felhasználása révén.

7. A Csúrog-Zsablyai vízrendszer hidrológiai értékelése

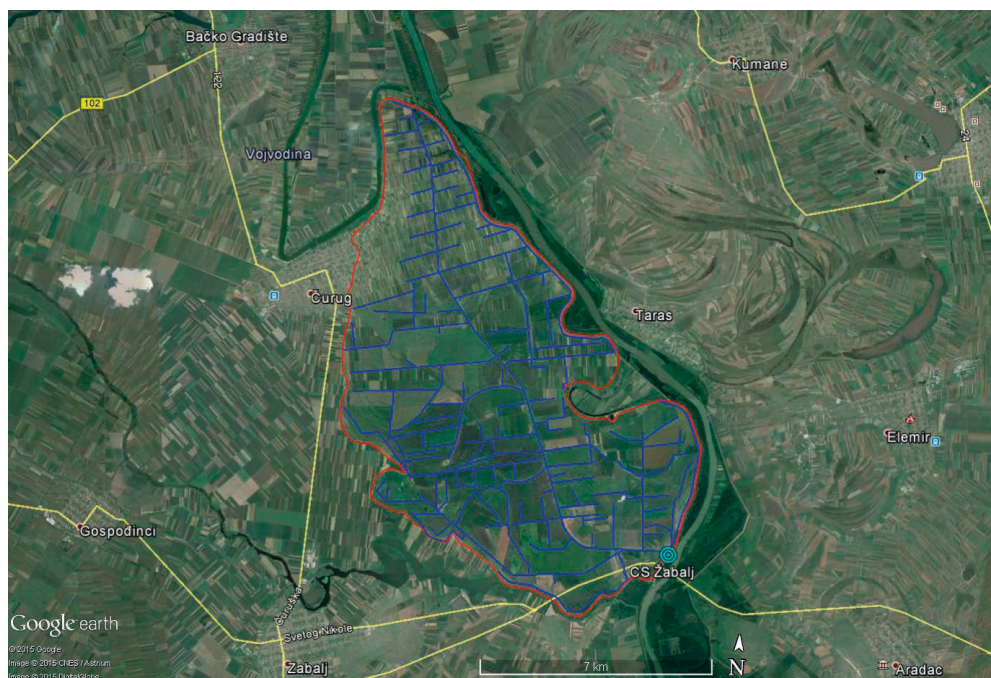
Bezdan, Atila; Gavrilović, Olivera; Njegomir, Milan; Blažević, Aniko; Janković, Duško; Vranešević, Milica; Blagojević, Boško; Benka, Pavel

A mintaterület jellemzői

A Csúrog és Zsablya települések közötti síkvidéki vízgyűjtő terület (7.1. és 7.2. ábra) Bácska délkeleti részén található. Kelet felől a Tisza, délről és nyugatról a Jegricska csatorna határolja, valamint nyugaton Nádaj, északról pedig Bácsföldvár település határa és a Holt-Tisza határolja. Öt község területéhez tartozik, de vízrajzi szempontból egységes egészet alkot.



7.1. ábra A csúrog-zsablyai mintaterület



7.2. ábra A csúrog-zsablyai vízgyűjtő terület műhold-felvételen (Googl Earth)

Topográfiai, geológiai és hidrológiai szempontból a mintaterület két részre osztható. A terület nyugati része (11.236 ha) lösszel fedett 79,0-83,0 m magasságban található terasz, amelynek átlagos tengerszint feletti magassága 81,0. A löszös teraszon csernozjom talaj alakult ki. Itt a talajvíz szintje 76,0–77,0 m magasságban található, azaz 4-5 m mélyen. A terület keleti része (9.500 ha) alacsonyabb fekvésű egykori ártéri terület, amelyet a Tisza árvízvédelmi töltése véd az elöntésektől. Átlagos tengerszint feletti magassága 74,0 m. Az alacsonyabban fekvő (73,0-75,0 m) egykori tiszai ártéren öntéstalaj található. Ez folyami hordalékon jött létre, anyaga leginkább agyag, de a mélyebben fekvő rétegekben aprószemű homok is található, azaz jobb és gyengébb vízáteresztő-képességű talajfoltok találhatók a területen. A rét jelentős területén magas a talajvíz-szint, tavasszal pedig nagy foltokban hosszú időn keresztül belvíz jelenhet meg. A talajvíz kedvezőtlen vegyi összetétele degradálja a talajt, így az veszíti a termőképességét.

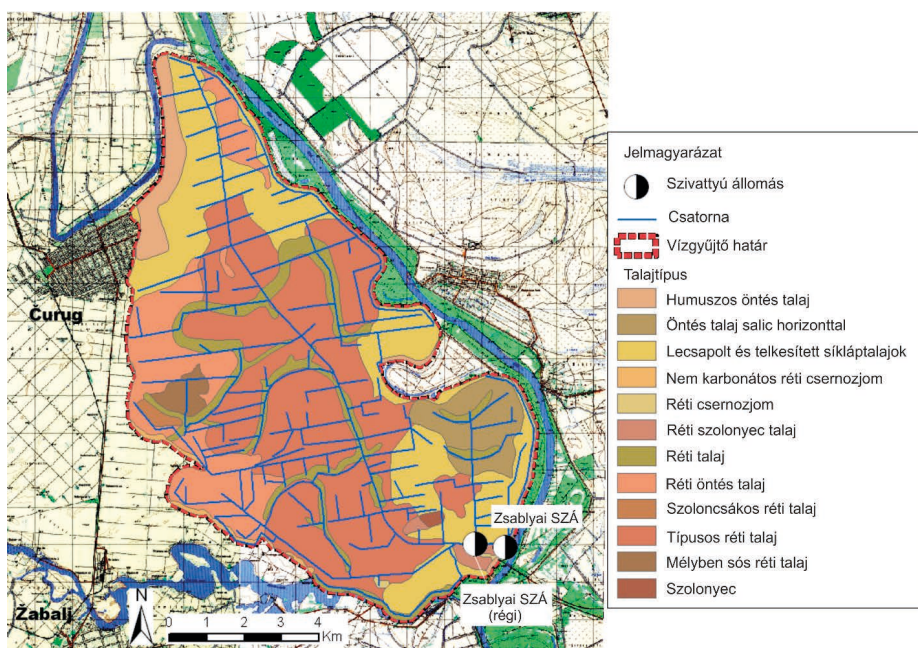
A mintaterület topográfiai felépítése azt eredményezi, hogy a vízáteresztő talajt idegen eredetű talajvíz tölti ki, amely részben a magasabb teraszfelszín felől származik, illetve a Jegricskából állandóan, a Tiszából és a Holt-Tiszából pedig időnként kap vízutánpótlást, ami az aktív réteget felülről túlzottan nedvesíti. A csúrog-zsablyai vízgyűjtőterület kapcsán felmerült a felszíni vizek elvezetésének a kérdése, hiszen tavasszal és a nagyobb záporok után a vízfelesleg felgyülemlik a mélyedésekben és akadályozza a mezőgazdasági termelést.

A tágabb mintaterület geomorfológiai és geológiai jellemzői

Geomorfológiai szempontból Bácska egészéhez hasonlóan ez a terület is a Kárpát-medencéhez tartozik, amelyet a Kárpátok, az Alpok és a Dinaridák határolnak. A Kárpát-medence mai formáit és topográfiai viszonyait ezen a területen is a térségben ható külső és belső erők alakították. A mintaterület alacsonyabb része a Tisza ártéri síkjához tartozik, a magas rész pedig terasz, amelyet lösz és lösz-szerű üledék borít. A topográfiai viszonyok alapján a vízgyűjtő területet két részre oszthatjuk (löszös terasz és ártéri sík), amelyek egymástól nem csupán magasságukban különböznek, hanem morfológiai formáikban, üledékeikben és kialakulásuk módjában is..

A terület talajtani jellemzői

Talajtani viszonyokat elemezve megállapítható, hogy ezen a területen 12 talajtípus, -altípus és -változat különíthető el, amit a 7.3. ábra mutat (Pantelić, 1966). A talajtani adatok alapján megállapítható, hogy a területen először meg kell oldani a jó vízelvezetést, és csak utána lehet hozzálátni a talaj termőképességét javító egyéb mezőgazdasági lépésekhez.



7.3. ábra A csúrog-zsabyai vízgyűjtő terület talajtani térképe

A vízelvezető rendszer alapvető jellemzői az 1966. évi tervek szerint

Az 1966. évi vízrendezési terv a csúrog-zsablyai területet három alrendszerre osztotta. A rét vízelvezetését egy 9,5 m³/s kapacitású szivattyúállomással oldanák meg, míg a másik két alrendszerben gravitációs vízgyűjtőkkel juttatnák a vizet a Holt-Tiszába illetve a szabályozott Jegricska-csatornába (Pantelić, 1966). A csatornahálózat egyes részein a szükséges elfolyás meghatározásakor, illetve az egyes csatornák, szakaszaik és műtárgyaik méretezésekor azokat a modulokat használták, amelyeket a Csúrog-zsablyai vízelvezető rendszer vázlattervében határoztak meg és dokumentáltak, azzal, hogy a rét vízelvezetési modelljét 0,9 l/s/ha-ról 1,0 l/s/ha-ra kerekítették. Ezek szerint a téli csapadékvizek és a hosszan tartó esőzések vizeinek elvezetésére, amikor az egész vízgyűjtő terület hidrológiailag aktív, a következő vízelvezetési modulokkal számoltak:

Az egykori ártérre: $q_r = 1,0 \text{ l/s/ha}$

A teraszra: $q_t = 0,5 \text{ l/s/ha}$

Az említett vízelvezetési modulok megfelelőek a téli időszakban 15 napon belül történő vízelvezetésre tízéves csapadékmáximummal számolva. Az vízelvezető csatornahálózatot nyitott, trapéz keresztmetszetű földcsatornák alkotják, amelyek méretezése a vízépítészeti számítások szerint a következő:

- a mederalj minimális szélessége 0,5 m,
- a víz minimális munkamélysége a mélyedésekben a talajszint alatt 0,5 m,
- a csatorna minimális mélysége 1,0 m,
- a csatornafal lejtése az első 2 méteren 1:1,25, 2-3 méter mélységben pedig 1:1.50.

Lefolyási tényező és a vízelvezetés vízépítészeti modulja

A csúrog-zsablyai vízgyűjtő terület 1966. évi vízrendezési tervében a lefolyási tényező és a vízelvezetési modul meghatározásához Német és Turazzi képletét használták. Ez a módszer nem szerepel a kortárs irodalomban, de annak idején felhasználták a vajdasági és a magyarországi vízgyűjtő területek elemzésekor és a vízelvezető rendszerek tervezésekor. A következő képleteket használták fel a csúrog-zsablyai vízgyűjtő rendezése kapcsán (Pantelić, 1966).

A fajlagos közepes vízhozam meghatározásának kiinduló egyenlete a következő:

$$q_s = 0,1157 \cdot \frac{\alpha \cdot h}{t + \tau}$$

Ahol: q_s – fajlagos közepes vízhozam (l s⁻¹ ha⁻¹), α – lefolyási tényező, h – mérvadó csapadék mennyisége (mm), t – mérvadó eső időtartama (nap), τ – összegyülekezési

idő, azaz a vízcsepp útjának hossza a vízgyűjtő legtávolabbi pontjától a víztárolóig (nap).

Ha az előző egyenletet megszorozzuk azzal a tényezővel, amely a maximális és a közepes elfolyás arányát jelzi, s amely a magyarországi viszonyok esetében 1,7 (alkalmazható Vajdaság területére is), megkapjuk a maximális fajlagos vízhozamot: q_{\max} ($\text{l s}^{-1} \text{ha}^{-1}$):

$$q_{\max} = 0,1157 \cdot \frac{\alpha \cdot h}{t + \tau} \cdot 1,7$$

A lefolyási tényező fontos szerepet játszik a vízhozam meghatározásában. Meghatározásához számos tényező ismerete szükséges, mint amilyenek: áteresztő képesség, lejtés, talajmegtűnés módja, a talaj típusa. A csúrog-zsabylai vízelvezető rendszer vízrendezési tervében (Pantelić, 1966) az áll, hogy a lefolyási tényező havi változásait a következő tényezők okozzák:

- (1) a felszín lejtése (α_1);
- (2) a talaj vízáteresztő képessége (α_2);
- (3) a talaj növényzettel való fedettsége (α_3).

A parciális lefolyási tényezők meghatározásához az értékek az 7.1-7.3. táblázatokban találhatóak, ahol a lejtéstől, vízáteresztő-képességtől és a terület növénytakarójától függően a meghatározott vízhozam értékei szerepelnek. A lefolyási tényező egyenlő a három adott tényező összegével.

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3$$

7.1. táblázat *Parciális lefolyási tényező a felszín lejtésének (α_1) függvényében*

Lejtés	Együttható α_1
>35 %	0,22 – 0,25 – 0,30
11 – 35 %	0,12 – 0,18 – 0,20
3,5 – 11 %	0,06 – 0,08 – 0,10
<3,5 %	0,01 – 0,03 – 0,05

7.2. táblázat *Parciális lefolyási tényező a talaj vízáteresztő képességének (α_2) függvényében*

Talaj vízáteresztő képesség	Együttható α_2
Nagyon gyenge áteresztőképesség	0,22 – 0,26 – 0,30
Mérsékelt áteresztőképesség	0,12 – 0,16 – 0,20
vízáteresztő	0,06 – 0,08 – 0,10
Erősen vízáteresztő	0,03 – 0,04 – 0,05

7.3. táblázat *Parciális lefolyási tényező a talaj növényzettel való borítottságának (α_3) függvényében*

Vegetáció borítás	Együttható α_3
Csupasz talajfelszín	0,22 – 0,26 – 0,30
Mocsarak, rétek	0,17 – 0,21 – 0,25
Művelt terület	0,07 – 0,11 – 0,15
Erdők és természetközeli területek homokon	0,03 – 0,04 – 0,05

Az α_2 parciális tényező meghatározásához a Vajdaság talajtani térképét használták (Živković et al., 1972). Az α_2 tényező meghatározása során figyelembe vették a különböző talajtípusok részarányát és ezek vízvezető képességét az adott területen. Miljković (2005) vízvezető képességük alapján osztályozta a talajokat, figyelembe véve víztartó képességüket és legfontosabb kémiai jellemzőiket. A talajokat öt osztályba sorolta a következő jellemzőkkel:

- (1) I. vízvezető-képesség osztály: természetes állapotában nagyon gyenge vízvezetésű talaj, így ezeket rendkívüli mértékben veszélyeztetik a felesleges vizek, belvizek;
- (2) II. vízvezető-képesség osztály: gyenge vízvezetésű talaj, így területét közepes mértékben veszélyeztetik a felesleges vizek;
- (3) III. vízvezető-képesség osztály: a talajnak nem elégséges a természetes vízelvezetése, így a területet mérsékeltan veszélyeztetik a felesleges vizek;
- (4) IV. vízvezető-képesség osztály: a laza szerkezetű talajnak mérsékelt a természetes vízelvezetése, ezért kismértékben veszélyeztetik a belvizek;
- (5) V. vízvezető-képesség osztály: laza szerkezetű talaj jó természetes vízelvezetéssel, így felületét nem veszélyeztetik a felesleges vizek, nem igényel vízelvezetést.

Az α_3 tényező értékét a CORINE Land Cover 2012 (EEA, 2012) alapján végzett elemzéssel adtuk meg. Ez az adatbázis tartalmazza a területek felszínborítását és a parcellák területét. A talajtakaró adatai kinyerhetők az adatbázis-kódok és a CORINE nomenklátúra használatával (Nestorov és Protić, 2006). A terület adatainak elemzése és térképének kidolgozása GIS eszközök segítségével történt.

Akár egyedi parcellákról, akár nagyobb területről van szó, az effektív csapadék meghatározása, amely az árhullámok előrejelzésénél használatos, különösen a determinálási módszereknél, vagy a nagy intenzitású (viharos) csapadék időtartamán kell hogy alapuljon, vagy a vízfolyás koncentrállódásának időtartamán (Gericke and Plessis, 2011). Az összegyülekezés időtartama (t) a vízgyűjtő rendszer reagálásának kulcsfontosságú időtényezője, amely az elfolyás maximális térfogatának az előrejelzéséhez szükséges (Perdikaris et al., 2018). A vízfolyás összegyülekezésének időtartama (t) az az időt jelzi, ameddig az esőcsepp a vízgyűjtő terület legtávolabbi pontjától

eljut a befogadóig. Ezt a vízrendezési tervben (Pantelić, 1966) Venturi-egyenletével határozták meg, a vízgyűjtő terület felszíne alapján:

$$\tau = 0,315 \cdot \sqrt{F}$$

ahol az F – a vízgyűjtő területe (km^2).

A csapadék mérvadó magasságát/mennyiségét Montanari éghajlati függvénye alapján adták meg, amelyet minden egyes elemzett területre külön-külön kiszámítottak:

$$h = a \cdot t^n$$

Ahol a : h – a csapadék mérvadó magassága (mm), az a és n – állandók, amelyek az elemzett terület hidrológiai tulajdonságaitól függenek, míg a t a csapadék időtartamát jelzi (nap).

Rajić és Josimov-Dundžurski (2009) szerint a Vajdaság területére a következő tényezők érvényesek $a=64$ (ami Vajdaság területére az egynapos átlagos maximális csapadék-magasságot jelzi) és $n=0,415$. Így Montanari függvénye a következőképpen alakul:

$$h = 64 \cdot t^{0,415}$$

Montanari függvénye és a vízgyűjtőre jellemző összegyülekezés idő (τ) alapján a mérvadó eső időtartamára vonatkozó képlet:

$$t = \frac{n}{1-n} \cdot \tau$$

A vízrendezési tervben (Pantelić, 1966) a mérvadó eső időtartamát a csapadékdiagram t időbeli, valamint az esőcsepp τ elérési idejének elemzése alapján határozták meg. Egy adott vízgyűjtőterületre három eset jellemző:

- (1) Az eső időtartama egyenlő az összegyülekezési idővel ($t=\tau$);
- (2) Az eső időtartama hosszabb az összegyülekezési időnél ($t>\tau$);
- (3) Az eső időtartama rövidebb az összegyülekezési időnél ($t<\tau$);

A maximális egységnyi átfolyás akkor jelentkezik, amikor a mérvadó eső tartama nagyobb, vagy egyenlő az összegyülekezési idővel, azaz $t \geq \tau$. A projekt a vegetációs időszak többnapos egymást követő esőzéseit elemezve úgy számol, hogy a mérvadó eső időtartama $t=3$ nap. A mérvadó esőnek ezt az értékét használták a tervezők a vízelvezetés hidromoduljának további számításainál.

Az elfolyási tényező és a vízelvezetési modul meghatározása – Német és Turazzo empirikus képleteinek a felhasználásával – a vízgyűjtő területen uralkodó aktuális feltételek elemzése alapján történt. A módszer legtöbb adatot igénylő eleme a parciális elfolyási tényezők minél pontosabb meghatározása, amelyeket a felszín esésének (α_1), a talaj vízáteresztő képességének (α_2) és a talaj benőttiségi mértékének (α_3) függvényében adták meg.

A mintaterületen a főcsatorna hosszanti metszete alapján – ez a csatorna vezet el az összes vizet az elemzett vízgyűjtő területről a szabványi szivattyúállomáshoz – került meghatározásra a csatorna lejtésének középértéke, ami 0,011%. A kapott középértékből és abból a tényből kiindulva, hogy kifejezetten síksági területről van

szó, a felszín lejtésének tényezőjeként az 7.1. táblázatból minimális értéként az $\alpha_1=0,01$ lett elfogadva.

A talaj vízáteresztő képességének parciális tényezője (α_2) a területre jellemző talajfajták és azok hidrológiai tulajdonságai alapján került meghatározásra. Az α_2 tényező komplex értékének a meghatározása szerepel a 7.4. táblázatban. A különböző talajtípusok részaránya és a hozzájuk rendelt 7.2. táblázati értékek alapján alakult ki az egész vízgyűjtő területre érvényes talaj vízáteresztő képességi tényező, amelynek értéke $\alpha_2=0,22$.

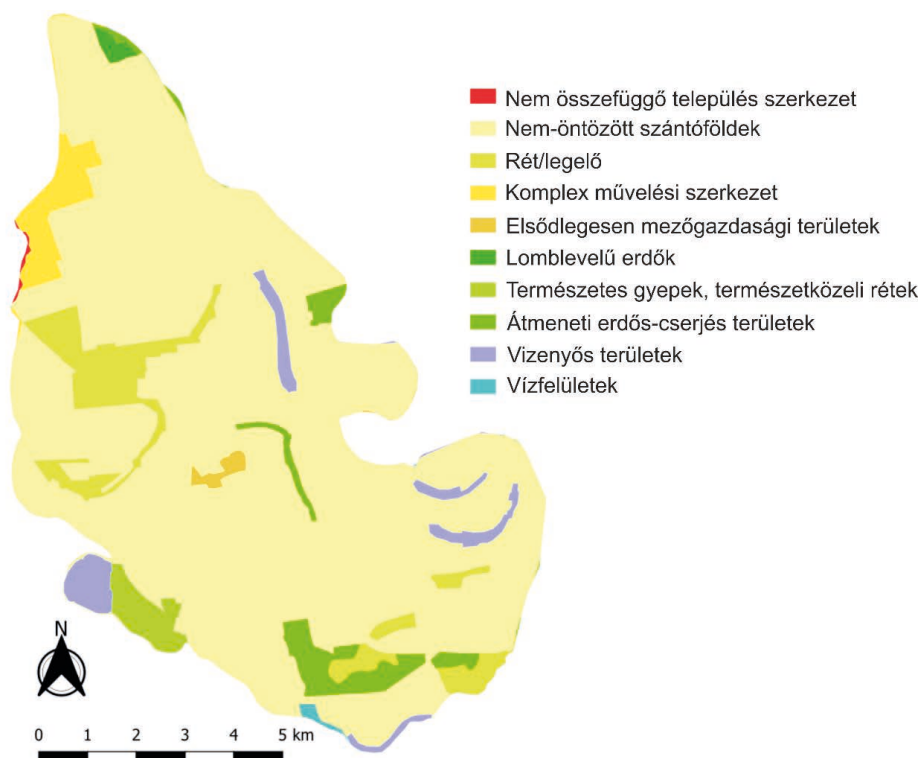
A talaj növényzettel való fedettségének mértékétől függő parciális tényező (α_3) a CORINE Land Cover 2012 adatbázis alapján lett meghatározva, amely a talajfelszín rendeltetéséről és jellemzőiről tartalmaz információkat. A mintaterületre jellemző felszínfedettséget mutatja be a 7.4. ábra.

A talajfelszín rendeltetéséről és jellemzőiről készült elemzés azt mutatja, hogy a zsabai alrendszer területén a legnagyobb részt (85%) az öntözetlen megművelhető földterületek adják. A többi talajfelszín-típus részarányát, valamint az α_3 tényező komplex értékének a meghatározását az 7.5. táblázat tartalmazza. A talaj növényzettel való fedettségének elfogadott értéke, amely az egész vízgyűjtő területre érvényes, $\alpha_3=0,11$.

A vizsgált terület teljes lefolyási tényezője $\alpha=0,34$. A lefolyási tényezőnek ez az értéke kisebb az 1966. évi projektben szereplő értéknél, amely az akkori viszonyoknak megfelelően $\alpha=0,43$ volt.

7.4. táblázat *Parciális tényező a talaj vízáteresztő képességének függvényében (α_2)*

Talajtípus	%	Vízvezető- képesség osztály	α_2	Az α_2 együttható komplex értéke
Lecsapolt és telkesített síkláptalajok	25,45	II	0,16	0,04072
Humuszos öntéstalaj	3,74	III	0,08	0,00299
Öntéstalaj salic horizonttal	4,98	II	0,16	0,00797
Szoloncsákos réti talaj	0,46	I	0,26	0,00119
Típusos réti talaj	38,92	I	0,26	0,10119
Mélyben sós réti talaj	1,30	I	0,26	0,00339
Karbonátos réti talaj	0,01	IV	0,04	0,00000
Réti öntéstalaj	13,73	I	0,26	0,03569
Réti szolonyec talaj	0,85	III	0,08	0,00068
Szolonyec	0,22	I	0,26	0,00058
Nem karbonátos réti csernozjom	0,72	IV	0,04	0,00029
Réti csernozjom	0,22	IV	0,04	0,00009
Réti talaj	9,38	I	0,26	0,02439
Szoloncsák	0,01	I	0,26	0,00003
Mészlepedékes csernozjom	0,02	V	0,05	0,00001
$\Sigma=$	100			0,21921



7.4. ábra A csúrog-zsabyai mintaterület növényzettel való fedettségének jellemzői
CORINE Land Cover 2012 alapján

7.5. táblázat Parciális tényező számítása a talaj növényzettel való fedettsége függvényében (α_3)

Felszínborítás típusa	%	α_3	Az α_3 együttható komplex értéke
Nem összefüggő település szerkezet	0,09	0,30	0,00026
Nem-öntözött szántóföldek	85,26	0,11	0,09379
Rét/legelő	5,50	0,21	0,01154
Komplex művelési szerkezet	0,11	0,11	0,00013
Elsődlegesen mezőgazdasági területek, jelentős természetes formációkkal	0,41	0,11	0,00046
Lomblevelű erdők	0,66	0,04	0,00026
Természetes gyepek, természetközeli rétek	1,54	0,21	0,00323
Átmeneti erdős-cserjés területek	3,36	0,04	0,00134
Belső (szárazföldi) vizenyős területek	2,78	0	0
Vízfelületek	0,28	0	0
$\Sigma=$	100		0,11102

A vízgyűjtő kiszámított összegyülekezési ideje (τ) 3,06 nap.

Abból a feltételezésből kiindulva, hogy a maximális egységnyi átfolyás akkor jelentkezik, amikor a mérvadó eső tartama nagyobb, vagy egyenlő a vízgyűjtő koncentrációjának az idejével, azaz $t \geq \tau$, a további számításoknál elfogadott viszony $t = \tau$, azaz $t = 3,06$ nap.

Montanari függvénye, valamint a Vajdaság területére érvényes tényezők alapján lett kiszámítva a mérvadó csapadék magassága, ami $h = 101$ mm. Ezután került kiszámításra a vízhozam, amely a vízgyűjtő aktuális helyzetét tükrözi:

$$q_{\max} = 0,1157 \cdot \frac{0,34 \cdot 101}{3,06 + 3,06} \cdot 1,7 = 1,1 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$$

A kapott új értékek és a csúrog-zsabylai vízgyűjtő terület vízrendezési tervében (Pantelić, 1966) szereplő adatok összehasonlítását tartalmazza a 7.6. táblázat. A kapott eredmények azt mutatják, hogy az elvezetendő legnagyobb vízhozam $q_{\max} = 1,1 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$, amely a vízgyűjtő aktuális helyzetét szemlélteti, s amely igen közel áll a tervben elfogadott $q_{\max} = 1,0 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ értékhez.

7.6. táblázat A vízrendezési terv értékeinek és a kapott új értékeknek az összehasonlítása

Paraméter	Tervezett érték (Pantelić, 1966)	Új érték	Mértékegység
α_1	0,01	0,01	-
α_2	0,25	0,22	-
α_3	0,17	0,11	-
α	0,43	0,34	-
t	3	3,06	nap
τ	3,06	3,06	nap
h	71,6	101	mm
q_{\max}	1,0	1,1	l/s/ha

A kapott eredmények azt mutatják, hogy az a vízvezetési megoldás, amely a vízgyűjtő jelenlegi helyzetét tükrözi, igen közel áll ahhoz, amelyet a vízrendezési terv tartalmaz. Ebben a helyzetben az adatok azt mutatják, hogy a rendszer vízvezető kapacitása elégséges a vízgyűjtő területén uralkodó jelenlegi állapotokhoz képest. A felesleges vizek kérdésének a megoldását – amelyek a vízgyűjtő területén maradnak az evakuálási idő letelte után is – a meliorációs csatornák rendszeres karbantartásában és kiegészítő meliorációs lépésekben kell keresni. Mivel az agyagosabb talajoknál lassabb a beszivárgás, ilyen helyzetben meg kell vizsgálni a vízszintes alagszövezés vagy bio-drenázs lehetőségét (Vranešević et al., 2017). Figyelembe véve a csúrog-zsabylai vízgyűjtő terület vízvezetésének komplexitását, a meglévő infrastruktúrával, valamint a vízgyűjtő helyzetének a javítását célzó meliorációs lépésekkel elérhető, hogy a felesleges vizeket levezessék és maximálisan ki legyen aknázva a terület mezőgazdasági potenciálja.

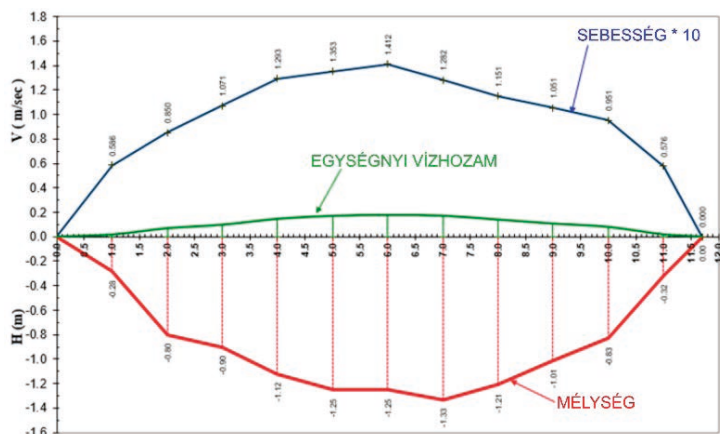
Hidrometriai mérések és hidraulikus modellezés

A vízelvezető csatornarendszer működési feltételeinek a tanulmányozásához 2019 májusában három szelvénynél, km 1+550, 3+700 és 6+100 km (7.5. ábra) sor került a csatorna hidrometriai vizsgálatára.

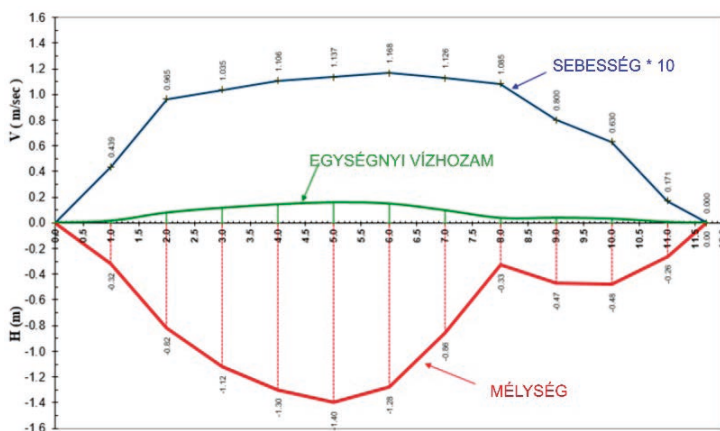


7.5. ábra A hidrometriai mérések szelvényeinek helye

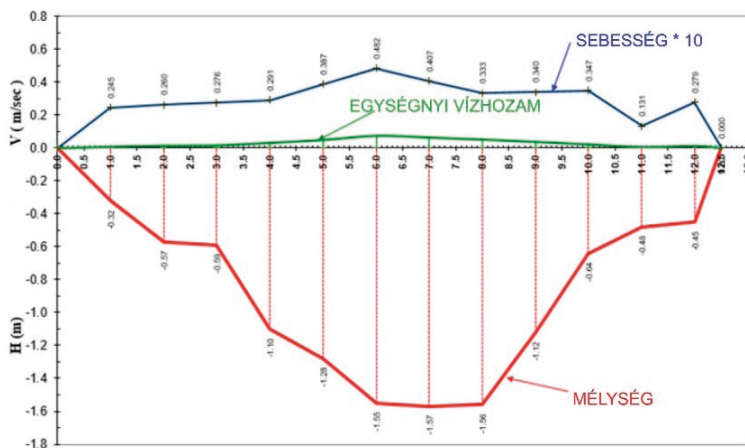
A csatorna szelvényekben a vízsebesség mérése szabványos hidrometriai módszerrel történt OTT Nautilus C2000 készülék segítségével. Ezt a korszerű hidrometriai készüléket, amely az átfolyást elektromágneses mezővel méri, „nagyon lassú” vízfolyás mérésére tették alkalmassá (0,00-2,50 m/s), a legkisebb vízmélység pedig 3 cm. A csúrog-zsabyai főcsatorna hidraulikus jellemzőit a sebesség-felszín módszerével határoztuk meg. Az eredmények a 7.6-7.8. ábrákon, illetve a 7.7. és 7.8. táblázatban láthatók.



7.6. ábra A hidrometriai mérések eredménye a főcsatorna 1+550 km-énél lévő szelvényben



7.7. ábra A hidrometriai mérések eredménye a főcsatorna 3+700 km-énél lévő szelvényben



7.8. ábra A hidrometriai mérések eredménye a főcsatorna 6+100 km-énél lévő szelvényben

7.7. táblázat A hidrometriai mérések eredményei és a tervezett értékekkel való összehasonlításuk

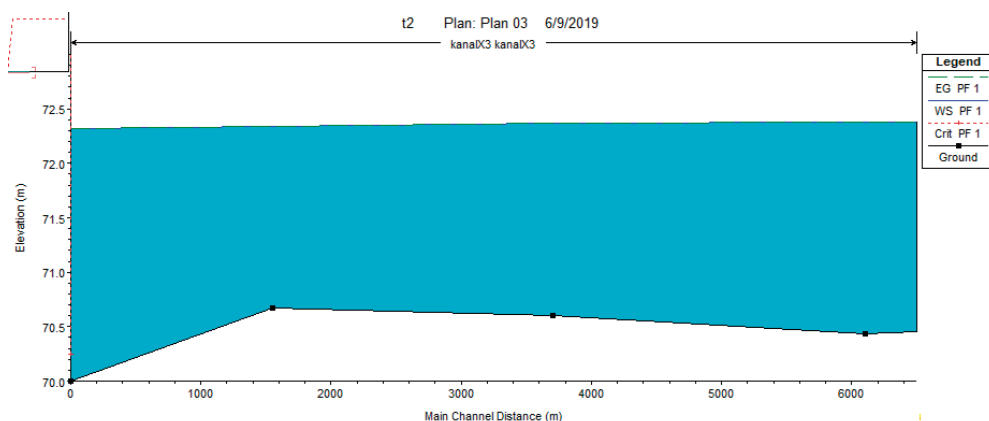
Szelvény (km)	Vízhozam (m ³ /s)		Vízsebesség (m/s)	
	tervezett	mért	tervezett	mért
1+550	7,3	1,18	0,35	0,12
3+700	7,05	0,87	0,35	0,10
6+100	6,17	0,39	0,34	0,04

7.8. táblázat A főcsatorna hidraulikai elemei a vizsgált szelvényeknél

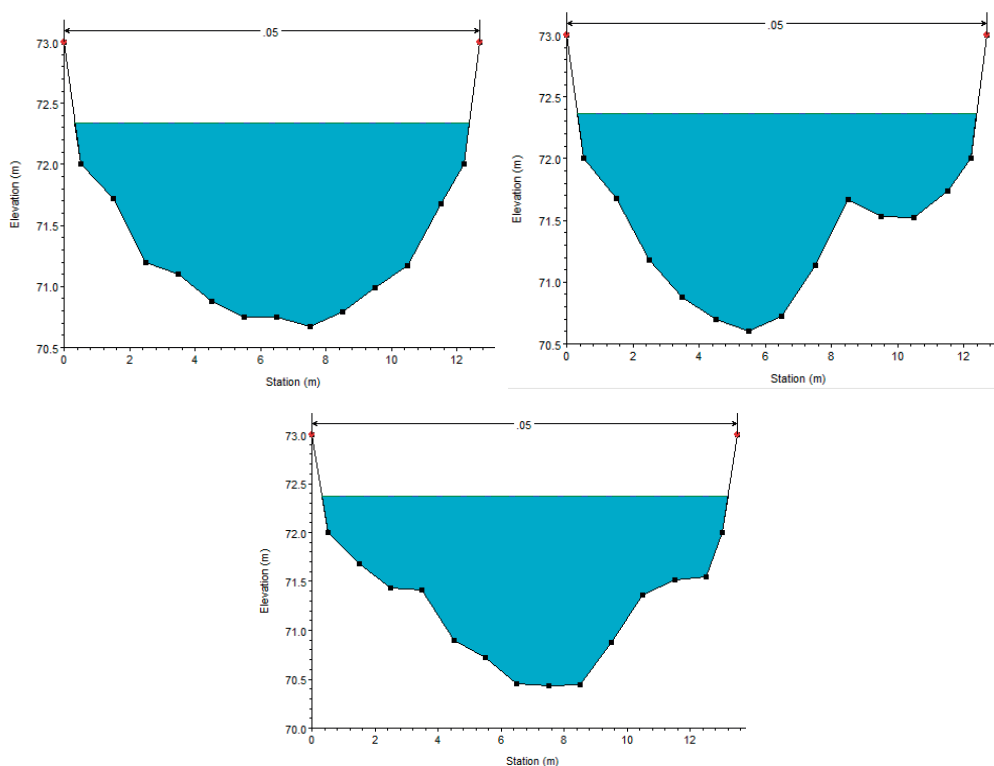
Szelvény (km)	Keresztmetszet (m ²)		Nedvesített terület (m)		Hidraulikus sugár (m)	
	tervezett	mért	tervezett	mért	tervezett	mért
1+550	21,03	14,23	16,51	12,89	1,27	1,10
3+700	20,33	12,93	16,11	13,05	1,26	0,99
6+100	18,08	15,87	14,88	13,98	1,22	1,14

A főcsatorna három kiválasztott szelvényénél végzett hidrometriai mérések eredményei azt mutatják, hogy a regisztrált szelvénysebességek, valamint az átfolyás jóval a tervezett értékek alatt vannak. Eeredményeink szerint a főcsatorna szivattyúhoz közelebbi részeinek kisebb a kihasználtsága. A vizsgált szelvényeknél a csatorna geometriai jellemzői azt mutatják, hogy a tervezetthez képest változások történtek a csatorna eredeti geometriai alakjában.

A hidrometriai mérések alapján a HEC-RAS programcsomagban elkészítettük a főcsatorna hidraulikai modelljét. A modell-számítások alapján megállapítottuk, hogy a vízfolyással szembeni hidraulikus ellenállásnak a Manning-féle n érdességi tényezőt keresztül kifejezett értékei magasabbak a tervezett értékeknél. A mért átlagérték $n = 0,05$, a tervezett érték pedig $0,026$. Az eredményeket, illetve a főcsatorna víztükör vonalát a 7.9. és a 7.10. ábra tartalmazza.



7.9. ábra A főcsatorna 0+000 és 6+100 km pontok közötti hossz-metszete



7.10. ábra A főcsatorna szelvény-keresztmetszete az 1+550, 3+700 és 6+100 km pontokon

Az eredmények arra utalnak, hogy romlottak a vízáramlás feltételei a vízvezető rendszer főcsatornájában. Ez azzal magyarázható, hogy a vízvezető csatorna-rendszer használata során az eróziós folyamatok és a vízi növények folyamatos burjánzása következtében lerakódik az iszap. A csatorna-rendszerek eddigi használatának gyakorlata azt mutatja, hogy 5 évente szükség van a csatornahálózat karbantartására a vízfolyás optimális feltételeinek a fenntartása, valamint a vízvezetés hatékonyságának a biztosítása érdekében (Kolaković, 2003).

Az IPA WATER@RISK projektje keretében végzett kutatások bebizonyították, hogy szükség van egy új tervre és annak végrehajtására. Ebben szerepelnie kellene a csatorna-rendszer és a szivattyúállomása állapotfelmérésének és működésének monitoringja, a vízgyűjtő hidrológiai viszonyainak (hidrológiai paramétereinek, hidrológiai rendjének, a vízvezetés hidrológiai moduljának) az elemzésének. Szükséges további hidraulikai modellezés, amellyel pontosan és részletesen értékelhető a rendszer működőképessége, majd ez alapján tervezhető a vízvezető rendszer fenntartása és megfelelő intézkedések bevezetése.

8. Csatornarendszerek üzemeltetése és integrált vízgazdálkodás – a Dong-ér vízgyűjtő területe

Nagy Zsuzsanna; Pálfi Gergely; Priváczkiné Hajdu Zsuzsanna; Benyhe Balázs

Bevezető

Magyarország természetföldrajzi adottságából adódóan területének közel negyede olyan mély fekvésű sík terület, amelyről természetes úton nem tud lefolyni a víz. Ezeknek a területeknek egy jó része jelenleg mezőgazdasági művelés alatt áll. Érdekes összevetni a jelenkorban tapasztalható és belvízveszélynek kitett területek területhasználatát, kiterjedését a XIX. századi árvízmentesítési időszak előtti helyzettel. A folyamatos emberi beavatkozás következménye már az 1940-es évekre elérte a 600 000 ezer hektár elöntött területet (Pálfi, 2004), majd ezt követte a belvízmentesítés időszaka, amelynek keretében sorra születtek a vízelvezető és szabályzó művek. Így a belvízzel elöntött területek nagysága nagyságrendileg csökkent, de a táblán belül korábban megoldott „vízkezelések” hanyatlása, illetve sok helyen annak szinte teljesen megszűnése miatt a jelenség ismételten számottevően láthatóvá kezdett válni.

A belvízjelenség tartóssága, területi kiterjedése és tömege jelenleg számos helyen a vízgazdálkodással összefüggő földhasználati konfliktusok alapja. Egyre jobban felvetődik annak a kérdése, hogy vajon meddig és milyen mértékben lehet az elöntések nagyságára műszaki megoldással reagálni (Kozák, 2006), vagy a helyzet kezelésében máshol is kell keresni a megoldást. Jelen tanulmány ennek a kérdésfelvetésnek válaszához, válaszához vezető elveket és gondolatokat igyekszik több oldalról körbejárni.

A belvíz keletkezése és mérése

A magyar szakirodalom alapján a belvíz különféle típusait különböztethetjük meg (Török 1997, Pálfi 2001; Pásztor et al. 2006; Kozák 2003, 2006; Barta et al 2013). Ami mindegyik típusra jellemző az az, hogy a helyi mélyedéseket vízzel tölti fel, és ez a víz csak a megfelelő időjárási körülmények, talajjellemzők és emberi beavatkozás esetén tűnik el. A következő típusokat különböztetjük meg:

- Horizontális vagy akkumulatív belvíz – általában a lehulló csapadék miatt keletkezik, de a topográfia és különféle talajjal kapcsolatos tényezők is fontos szerepet játszhatnak (Rakonczai et al. 2014a; Benyhe 2013, 2015; Barta et al. 2016).

- Vertikális belvíz vagy vízfeltörés miatti belvíz, amit „föld árjának” is hívnak – ez az, amikor a talajvíz szintje magasabbra kerül, mint a földfelszín.
- Sorban állás vagy Vágás típusú belvíz. Ez az elárasztás típus általában ott alakul ki, ahol szivattyúállomások vagy gátak vannak, mivel nem megfelelően működnek a csatornák vagy a szivattyúk, illetve nem elégséges a kapacitásuk.

A következőkben ismertetett általános megközelítéseket rendszerint az Alföldön kialakuló belvizek tanulmányozásakor használják:

- A megfigyelt belvíz nagyságának leírása. Főleg terepi felméréseken, csapadék térképeken, fényképeken, légi felvételeken, stb. alapul (Liczkó et al., 1987; Rakonczai et al., 2001; van Leeuwen et al., 2017).
- Érzékenységi térképek, amelyek főleg GIS-en alapulnak, figyelembe véve a topográfiai, talaj és földhasználati tényezőket (Pálfi, 2004; Pásztor et al., 2014; Bozán et al., 2018). Léptékük általában régiós vagy országos szintű.
- Távérzékelési technikák, amelyek olyan nagy felbontású, távolról érzékelt adatokat használnak, mint például a spektrális és hiperspektrális felvételek, radar adatok, műholdas információk, stb. (Csornai et al., 2000; Rakonczai et al., 2001; Mucsi és Henits, 2010, Csendes and Mucsi, 2016). Ez a módszer alkalmas a belvív-fajták csoportosítására (LEEUVEN et al., 2013).
- Komplex, kézzel fogható modellek azoknak a hidrológiai folyamatoknak a modellezésére, amelyek belvizet okoznak (Kozma, 2013, Leeuwen et al. 2016).

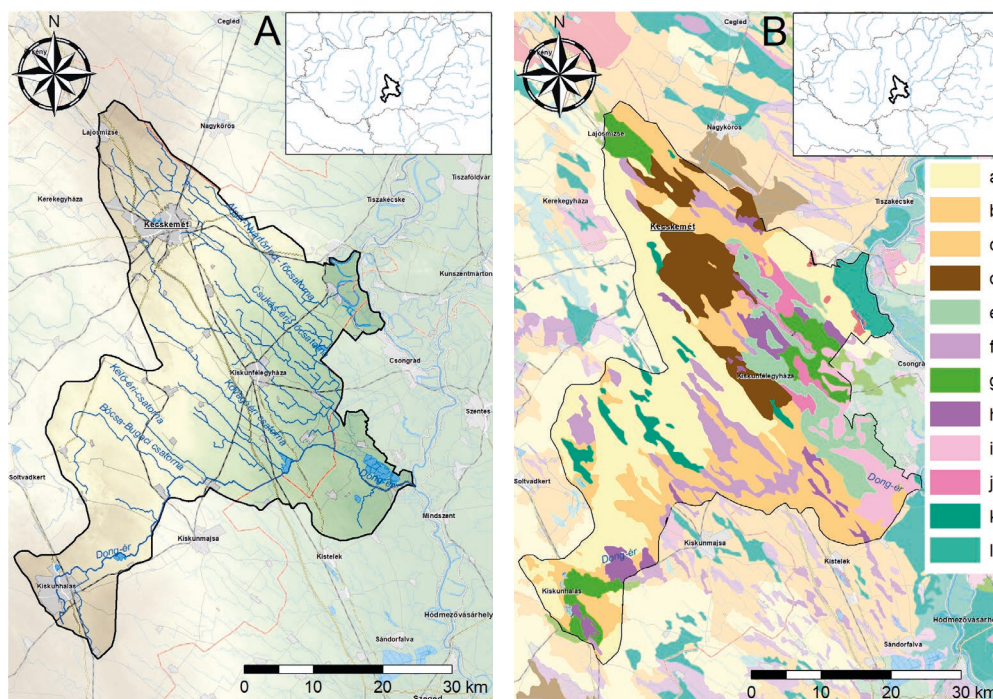
Modell terület

A vizsgált terület a Dong-ér vízgyűjtője, amely a Duna-Tisza közén valamint részben az Alsó-Tisza-völgyben (8.1/a. ábra) helyezkedik el. A fő vízfolyás a Dong-ér csatorna, amely a Tiszába, mint fő befogadóba szállítja a vizeket. A vízgyűjtő terület két részre osztható, a magasabban fekvő, homokháti térségre és az egykori árterületre a Tisza mentén.

A terület felszínét elsősorban a negyedidőszak változásai alakították. Folyami (Duna) és szél által kialakított felszíni formák dominánsak. A szél továbbra is létrehoz különféle homok alakzatokat, amelyek az uralkodó széliránynak megfelelően északnyugati irányúak és beborítják a korábbi löszös és szélfúttá homok által uralt területet. A Tisza-völgy mentén finom homokkal borított lösz rétegeket beborító csernozjom talaj a domináns.

A modell terület éghajlata mérsékelt vagy meleg, száraz. Az éves átlaghőmérséklet 10,2 és 10,7°C között ingadozik. Az éves csapadékmennyiség 520 és 570 mm között van, de extrém esetekben kevesebb, mint 400 mm. A Pálfi-féle besorolás alapján az eddig előforduló aszályos időszakok alapján a rendkívül aszályos, illetve a nagyon aszályos területek közé tartozik.

A Dong-ér rendszer két nagyobb alrendszerből áll; (1) a Dongér-Kecskemét (905 km²), és a Dongér-Halas belvíz rendszer (1011 km²). Ezen a területen alacsony a felszíni vizek használatának aránya a kevés csapadék lefolyás miatt, így leginkább a földfelszín alatti készletek használata a domináns. A víztározók vertikális alsó határa a felszíntől számított első vízáteresztő rétegnél húzható meg, átlagosan 20-30 méteres mélységben. A rendelkezésre álló agrotopográfiai térkép alapján a terület heterogén. A legjellemzőbb talaj típusok a homokos talajok, a humuszos homoktalaj, a futóhomok, a csernozjom és a szikes talajok (8.1/b. ábra). A heterogén terep- és talajviszonyok miatt, és a nagymértékben mesterséges vízelvezető hálózatnak köszönhetően a belvizek kialakulása sokféle, előre nem megjósolható folyamatot indíthat el.



8.1.ábra: Topográfiai körülmények és csatornahálózat a Dong-ér vízgyűjtő területén (A) és a terület talaj típusai (B) a: Futóhomok; b: Humuszos homokos talajok; c: Csernozjom jellegű homoktalajok; d: Alföldi mészlepedékes csernozjom; e: Réti csernozjomok; f: Szolonyeces réti talajok; g: Mélyben sós réti csernozjomok; h: Szoloncsák-szolonyecsek; i: Réti szolonyecsek; j: Réti talajok; k: Réti öntés-talajok; l: Sztyeppesedő réti szolonyecsek

A belvíz kialakulásának vizsgálata

Elöntésvizsgálat – Lefolyástalan medence elemzés

Ebben az előzetes elemzésben elöntésre hajlamos területeket azonosítottunk GIS technikák segítségével, digitális domborzatmodell (DDM) használatával, amely mélyedésekre vagy olyan területekre koncentrál, amelynek nincs lefolyása. Az elemzések elvárt eredménye olyan elöntési térképek, amelyek mutatják az elöntött területek nagyságát, a vízmélységet, a mélyedésben felhalmozódott víz mennyiségét és az áramlási útvonalakat. A modell eredményei csakis a DDM-től függenek, más tényezőket nem vettünk figyelembe, a modellel az elöntések meghatározásakor feltételezzük, hogy a víz szabadon mozoghat a felszínen, nem szivárog be a földbe és a felszín burkolata sem akadályozza a lefolyást. A valóságban hasonló körülmények telített vagy esetleg fagyott talaj esetén alakulnak ki, főleg a téli időszakban.

Elemzéseket végeztünk 10, 30, 60 és 100 mm-es csapadék nagyságra. Az elöntött területeket a mellékelt térképeken lehet megnézni, illetve a lenti táblázat is tartalmazza a méretüket és a mennyiségüket. A többé-kevésbé állandó vízborítással rendelkező tavak is felkerültek a térképre, mint elárasztott területek, de a méretüket és a mennyiségüket levontuk a számításokból. Ez az előzetes elemzés hasznos információkkal szolgálhat a felszíni lefolyás modellek kalibrálási folyamata során.

MIKE SHE elemzés – belvíz akkumulációja

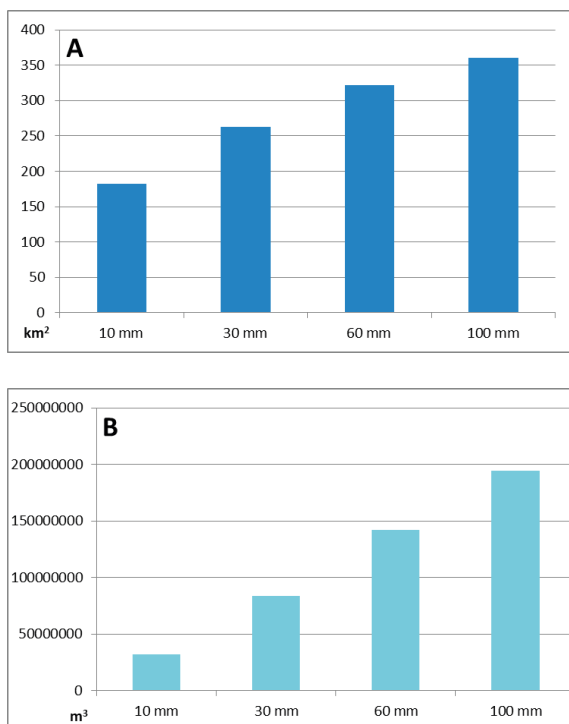
A belvíz modellezése nehéz és összetett feladat. A hidrológiai folyamatok megfelelő bemutatása érdekében az alkalmazott modell a következőket kell, hogy figyelembe vegye: (1) csapadék, (2) lefolyás, (3) párolgás, (4) evapotranspiráció, (5) beszivárgás, (6) vízmozgás telített és telítetlen zónában, (7) vízmozgás a csatornáknál és (8) víz tározódása a felszínen. Fontos, hogy ezek a folyamatok összefüggnek és egymásra hatást gyakorolnak. Ezen felül a gyakorlati tevékenységek szintén több szempontot kell, hogy figyelembe vegyenek a beavatkozás során, ezért a problémát integrált megközelítéssel kell értékelni. A MIKE SHE integrált vízgyűjtő modellező szoftver megfelel ezeknek a feltételeknek, ezért ezt választottuk, amely jó minőségű és gyors megoldásokat kínál a komplex vízmozgási és összegyülekezési folyamatokhoz. A MIKE SHE elemzés célja, hogy kialakítson egy kalibrált modellt, amely alkalmas a művelési tervezési és döntéshozatali igények kielégítésére, extrám hidrológiai körülmények között.

Első lépésként az összes input adatot ki kell elemezni és előzetes feldolgozást kell végezni, a fő kalibrálási paraméterek meghatározása céljából. A Dong-ér vízgyűjtője esetében számos fontos input hiányzott, így arra az időszakra koncentráltunk, amelyből rendelkezésre állt mért adat. 2015 és 2018 tavaszát választottuk ki, mivel ezekből az időszakokból rendelkezésre álltak elöntési térképek és a felszín alatti vízszintek.

Belvíz nagysága és mennyisége

Az is figyelemre méltó, hogy a legtöbb lehetséges belvizes terület egy bizonyos távolságra helyezkedik el mindenféle csatornától, ugyanakkor a tapasztalatok azt mutatják, hogy a lefolyást akadályozhatják a csatornák anyagából felépülő depóniák (Kiss és Benyhe 2015). Sajnos ez a hatás nem kimutatható az eredményeken, a DDM rossz felbontása miatt.

WATER@RISK | www.geo.u-szeged.hu/wateratrisk



8.3. ábra: Teljes belvíz terület (A) és mennyiség (B) a Dong-ér vízgyűjtő területén, lefolyástalan medence elemzés alapján, különféle csapadék mennyiségek esetén

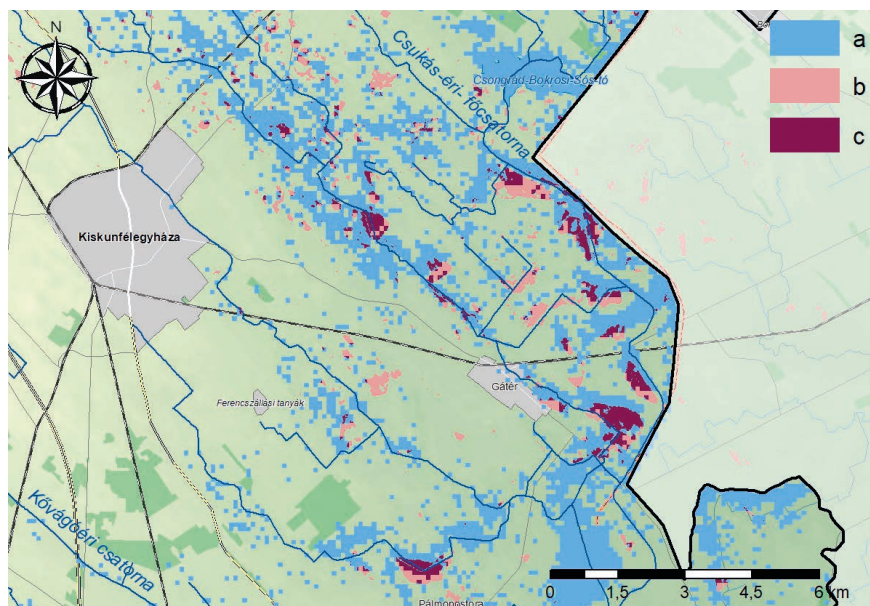
A Dong-ér vízgyűjtőjének integrált hidrológiai modellje

A kifejlesztett MIKE SHE modell célja az volt, hogy támogassa a belvízkezeléssel, víztározással, műtárgy üzemeltetéssel, csatorna karbantartással és egyéb vízgazdálkodási feladatokkal kapcsolatos gyakorlati teendőket a Dong-ér belvíz rendszerében. Mivel a hidrológiai folyamatok egymással összefüggve komplex rendszert alkotnak, a szakértők élhetnek a modell nyújtotta lehetőségekkel, amely képes az összes kapcsolódó jelenség integrálására és dinamikusan követi a vízgyensúly változásait a csatornáknak és a vízgyűjtőben.

A korlátozott hardver háttér miatt a modellezési időszakot (2010-2018) le kellett rövidíteni, ezért rövidebb időszakok elemzésére került sor. Látható 2018 esetében, hogy a modell nagy belvizes területeket eredményezett a vízgyűjtő keleti részén (8.4. ábra). A modellezett belvizes foltokat belvíz térképekkel validáltuk, melyeket a Szegei Tudományegyetem (SZTE) kollégái készítettek.

Látható, hogy a modell túlbecsülte a belvizes foltok számát és nagyságát is. A létrehozott térképen körülbelül 132 km²-nyi belvíz található, de a validálás megmutatta, hogy a kérdéses időszakban (2018. március 25. és 2018. április 1. között) csak

a terület egy kis hányadát fedte víz. A belvíz térkép nagy elöntéseket mutat a víz-vezető csatornák mentén, Vágás típusú belvizek kialakulását sugallva. A csatornák kapacitási hiányai miatt az alsó szakaszokon található területek veszélyeztetve vannak a vízgyűjtő felső részéről érkező víztöbbletektől, amennyiben a vízszint meghaladja a csatornapart szintjét.



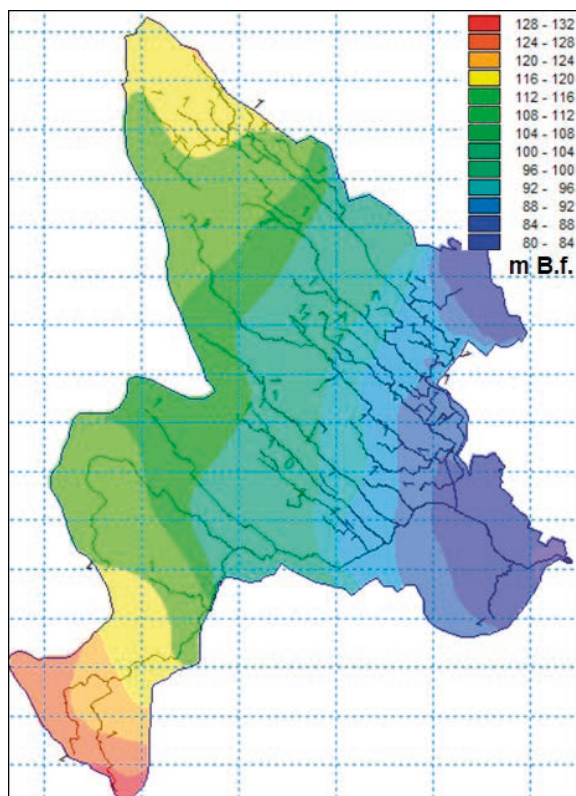
8.4. ábra.: Belvizes területek a MIKE SHE modell szerint (a), összehasonlítva az SZTE belvíz térképein szereplő területekkel (b), és validált belvizes foltokkal (c)

Mivel nincs folyamatos monitoring tevékenység a Dong-ér vízgyűjtőjén található csatornák mentén, a felszíni vízfolyások kalibrálása nem volt lehetséges a közelmúltban kialakult helyzetek esetében. Operatív vízállás és vízhozam mérés történik a belvív-védelmi időszakokban, de ezek az adatok esetlegesek, ezért nem lehet őket összevetni a modell eredményekkel, amelyek a numerikus instabilitás miatt ingadoznak.

Mindezek ellenére a felszín alatti vízszinteket és lejtéseket sikerült kalibrálni a meglévő kontroll monitoring kutak idősoraival. A modellezett talajvíz szintek igen ígéretesen visszaadták a megfigyelt vízszinteket, és a telített zóna modellezett vízszintjének átlagos hibaszintje 0,5 m alatt volt, ami rendkívül jó eredmény, figyelembe véve, hogy milyen gyenge minőségű és milyen kevés felszín alatti input adat állt rendelkezésre. Mivel a felszín alatti vízmérleg valamilyen módon összefüggésben van a kalibrálási értékekkel, feltételezhető, hogy a modellezett elöntések túlbecslése a nem pontos evapotranspirációs értékek miatt következett be. Sajnos maga az evapotranspiráció is számos tényezőn alapul (mint például a földhasználat, termény típusa, talajszerkezet, stb.), amelyeknek a kalibrálási lehetőségei nem adóttak.

A kiszámított talajvízadó réteg szintje szorosan követi a topográfiát (8.5. ábra), jól meghatározott lejtéssel a Tisza-völgy irányában. A vízszint emelkedés értékeit

minden időszak esetében kiszámoltuk, így a felhasználó megkapja az aktuális víztározási mennyiséget és felszín alatti áramlási sebességeket is. Mivel a felszín alatti víz a csatornák vizét táplálja, illetve a felszín fölé emelkedve megjelenik a mélyedésekben, az eredmények egyaránt használhatóak az elöntés térképezések, illetve kapacitás vagy vízkészlet elemzések során.



8.5. ábra Kiszámított vízszint emelkedési térkép telített zónában

A modellezés eredményeinek megvitatása

A hiányzó illetve nem naprakész input adatok miatt a MIKE SHE modell eredményeit lehet és kell is javítani. Egyébként az elért kalibrálási szinten a modellezés megmutatta a benne rejlő potenciált is. Mivel a MIKE SHE részletes, fizikai alapú módszereket használ, minden fontos folyamat modellezhető és mennyiségileg számítható. A MIKE SHE hasznos eszköze lehet a múltbéli belvízi összegyülekezések szimulációjának, a mérési adatok vízgyűjtőre való kiterjesztésének, illetve a különböző terepi észlelések értékelésének (pl. változás a földhasználatban, új csatornák megtervezése, stb.).

Mivel felszíni monitoring állomás adatait nem tudtuk felhasználni a vízmozgások validálására, a modell input adatokkal történő frissítése továbbra is feladat a kalibrálási és validálási folyamatokhoz. Ezt a hiányosságot orvosolja majd két új vízhozam-mérő állomás üzembe helyezése, amelyek a Dong-ér csatorna alsó-, illetve középső szakaszán épülnek majd meg. Ezek a berendezések alapvető fontosságú információkkal szolgálnak majd a vízszint és a vízhozam alakulásáról a vízügyi ágazat számára.

Más kulcsfontosságú input paramétereket is javítani kell annak érdekében, hogy pontos belvíz modellt fejleszthessünk ki. Ezek főleg a topográfiai és növényborítás térképek, amelyek sajnos ritkán frissülnek; ezen kívül voltak minőségi problémák a kontroll műtárgy adatbázissal is, amelyet a vízgazdálkodási szerveknek kell fejlesztenie. A nem megfelelő időbeli felbontáson túl, a rendelkezésre álló adatok meg is kérdőjelezhetők és bizonyos paraméterek (mint például a LAI, a gyökérmélység, a hidraulikus konduktivitási értékek) nem is validálhatók, éppen ezért kalibrálási értékeként kapnak szerepet.

A belvíz jelenségének vizsgálatakor a fő kalibrálási paraméter méréseire feltétlenül szükség van. Ezen túlmenően számos bizonytalanság van sok modellparaméter esetében, ami megnehezíti a kalibrálási folyamatot, de a hardver és a humán erőforrás rendelkezésre állása jelentik az egyik legnagyobb kihívást. A fizikai alapú modellezés jó eszköz a legérzékenyebb paraméterek kiválasztására, így segítve a vízgazdálkodás különböző ágazatait abban, hogy a legfontosabb tudományos és üzemirányítási fejlesztésekre koncentrálhassanak.

Vízkezelési program

A vízkezelési program célja, hogy áttekintse a WateratRisk projekt keretében komplex vízkészletgazdálkodási numerikus modellel feldolgozott terület vízkezelési helyzetét, illetve tegyen javaslatokat, amelyek a kidolgozott modell alkalmazásával a napi vízkezelési gyakorlatba átültethető.

A belvíz kialakulását és levezetését befolyásoló tényezők

A felszín szabdalt, a defláció és a lejtéviszonyokra visszavezethetően egymással párhuzamos ÉNy-DK irányú völgyek szabdalják. A belvízelvezető művek többnyire a fentebb említett völgyek mélyén épültek, de nem ritka a két völgy közötti hátságon beékelődött lefolyástalan terület sem.

A természetes esésviszonyok nagyobb vízmennyiség levezethetőségét biztosítják. Ezen műszaki lehetőségek ellen hat, hogy a csatornák gyakran a környező települések szennyvizet is fogadják, így a vizekben elburjánzó növényzet, szerves anyag, illetve a kiüledő iszap a vízszállító képesség csökkenéséhez vezet.

A táj természetlen szikfoltokkal, az ún. semlyékek sorozatával tarkítva. A belvízvédelmi szakasz déli részén a Kővágóéren, Galamboséri, Szentkútéri öblözetekben ún.

réti mészkő képződött, ami helyenként a 20-30 cm vastagságot is eléri. Ez a réteg helyenként a csatorna szelvényébe metsz, gátolva ezzel a csatornák földmedrének és műtárgyainak kiépítését. A mészkő alatt rendszerint rétegvíznyomás alatti folyóshomok található, a helyenként jelenlévő mészkőréteg és alatta a nyomás alatti talajvíz belvíznövelő tényező is lehet.

A 34. sz. Dongér-Halasi belvízrendszer a Tisza folyó mentén elterülő része túlnyomórészt mélyártéri terület. Domborzatának jellegzetessége, hogy azt – átlagosan 1 m/km esésű – régi folyómedrek tagolják.

A terület mintegy 50%-a szántó, jelentős a rét-legelő területek aránya (30%). Jelentős kiterjedésű természetvédelmi területek találhatók a területen, amelyek befolyásolhatják a vizek levezetésének ütemét. A védett területek összesen 55614 ha, Ex lege védettségű területek: 530,6 ha.

Az érintett belvízrendszerek műszaki és demográfiai jellemzői

A csatornák kiépített fajlagos vízhozama

A Csukás-ér vízgyűjtőn 21,35 l/s/km², az Alpár-Nyárlőrinci főcsatorna vízgyűjtőn a vízvezetés fajlagos kiépítettsége 23,25 l/s/km² a tározást nem számítva. A Dongéri öblözetben a fajlagos kiépítettség az alábbi: Dongéri öblözet: 16,7 l/s/km², Búdörszéki öblözet: 9,6 l/s/km², Bócsa-Bugaci öblözet: 8,4 l/s/km², Tázlári öblözet: 41,9 l/s/km², Alsószállási öblözet: 43,1 l/s/km². A 34. számú Dongéri belvízrendszer fajlagos kiépítettsége 18,6 l/s/km².

Belvíz-veszélyeztetettségi index és elöntési adatok

A terület adottságai miatt a belvíz-veszélyeztetettség a mélyártéri területeken jellemző. Belvíz-veszélyeztetettségi index (Pálfai) alapján a terület több mint fele belvízzel veszélyeztetett (8.1. táblázat). A belvízrendszerekben 1966-2018. közötti időszakban regisztrált legnagyobb elöntések a 33-as számú belvízvédelmi öblözetben 50000-87000 ha-t, a 34-es számúban 6500-7500 ha-t érintettek. A többi belvízzel érintett időszakban az elöntések átlagosan 3000 és 5000 ha terület került elöntés alá (8.2. táblázat).

8.1. táblázat: A belvíz veszélyeztetettség megoszlása a Dong-ér vízgyűjtőn

Pálfai-féle belvíz veszélyeztetettség	terület [km ²]	területi arány [%]
belvízmentes	715,3	36,2
belvízzel mérsékelten veszélyeztetett	1082,8	54,8
belvízzel közepesen veszélyeztetett	146,2	7,4
belvízzel erősen veszélyeztetett	31,6	1,6

8.2. táblázat: Az elöntött területek nagysága a Dong-ér vízgyűjtőjén

Időszak (év)	33. sz. Dongér-Kecskeméti	34. sz. Dongér-Halasi és 36. sz. Percsora-Sövényházi
	nagysága (ha)	Elöntött terület nagysága (ha)
1966	87000	3933
1970	50000	n.a.
1975	72000	4089
1999	n.a.	6900
2000	4600	6500
2006	n.a.	3550
2010	3450	7500
2011	3650	7500
2013	n.a.	4400
2014	1550	n.a.
2015	2500	5100
2016	1950	2250
2018	3050	n.a.

Demográfia

A 33. sz. Dongér-Kecskeméti és 34. sz. Dongér-Halasi belvízrendszerben összesen 21 db település található, az összes lakosság megközelítőleg 210.000 főre becsülhető. A lakosok 53 %-a Kecskemét városban él.

Vízvezetéssel, belvízvédekezéssel kapcsolatos prioritások, jogszabályi előírások

A mai jogszabályi környezetben alapvetően 3 jogszabály határozza meg a vízkárok elleni védekezés rendjét:

- 1995. évi LVII. törvény *A vízgazdálkodásról*
- A 232/1996. (XII. 26.) kormányrendelet *A vizek kártételei elleni védekezés szabályairól*
- A 10/1997. (VII.17.) KHVM rendelet az ár és belvízvédekezésről
- 2011. évi CXXVIII. törvény a katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról

A vízgazdálkodási törvény részletesen szabályozza a vízgazdálkodással kapcsolatos állami és helyi önkormányzati feladatokat, valamint a magántulajdonos feladatait is,

így a vízkárelhárítással és belvízvédekezéssel kapcsolatos feladatokat is. Továbbá előírja a vizek kártételei elleni védelem érdekében a vízkárelhárítási tevékenység szabályozását, szervezését, irányítását, ellenőrzését, a helyi közfeladatokat meghaladó védekezést.

A vízkárok elleni védekezés végrehajtását a 232/1996. kormányrendelet és a 10/1997. KHVM rendelet szabályozzák egyes belvízvédelmi készültségek elrendelésének kritériumait, az egyes fokozatokban szükséges teendőket, a védekezésre kötelezettek feladatait és hatásköreit, a védelmi tervek tartalmát, továbbá és lecsapolások, a belvíztározások és vízviszatartások rendjét.

A vízgazdálkodás, így a vízkárelhárítás, a belvizek elleni védekezés is, hazánkban állami irányítás mellett működik. Az országos irányítást a vízgazdálkodásért felelős miniszter látja el. A védelmi feladatok – a védművek építése, fejlesztése, fenntartása, védekezés – az állam, a helyi önkormányzatok, az egyéb érdekelték közös kötelezettsége. A vízkárelhárítással összefüggő állami feladatokat a vízügyi igazgatóságok látják el. Az igazgatóságok feladata az állami, az önkormányzati és a magántulajdonban lévő vízi létesítmények fenntartói, üzemeltetési, rekonstrukciós és fejlesztési összhangjának megteremtése.

A vízgazdálkodás központi-ágazati irányítása a 2012. óta Belügyminisztérium¹ felelőssége, a közfoglalkoztatásért és vízügyért felelős helyettes államtitkársághoz tartozik. Az állam operatív központi feladatait az Országos Vízügyi Főigazgatóság látja el. A miniszter és a Kormány az árvíz- és belvízvédekezés műszaki feladatainak országos irányítására Országos Műszaki Irányító Törzset (OMIT) hoz létre, az irányítást annak útján látja el. (Priváczkíné és Muhoray 2018.)

Veszélyhelyzet esetén a katasztrófavédelmi törvény² rendelkezései szerint kell eljárni. Rendkívüli belvízhelyzet esetén a veszélyhelyzet elrendelését a vízügyi igazgató az OMIT útján, vagy a polgármester a HVB és MVB³ elnökei a BM OKF⁴ útján kezdeményezhetik. (Priváczkíné et al. 2019.)

A vízkormányzás gyakorlata a hatályos jogszabályok és üzemelési rend alapján

A mintaterület belvízrendszereinek felszíne többnyire fennsíki, domborzati viszonyait alapvetően a Duna-Tisza közti homokhátságon elfoglalt helyzete szabja meg. Lejtésének iránya délkeletre a tiszai mélyártér felé, illetve a Tisza-völgy irányába lejt. A lejtési viszonyoknak köszönhetően a belvízrendszerek vizei az északnyugati-délkeleti irányban kiépített belvízelvezető csatornákon gravitációsan levezethetők a befogadóba, főbefogadóba.

1 A vízügyi ágazat az 1953-as megalakítása óta számtalan minisztérium alá tartozott és számtalan átszervezést élt meg. Ennek taglalására jelen cikk keretei és terjedelme nem ad lehetőséget.

2 2011. évi CXXVIII. törvény a katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról, módosítva 2012.

3 MVB: Megyei Védelmi Bizottság, HVB: Helyi Védelmi Bizottság

4 BM OKF: Belügyminisztérium, Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság

A tiltós műtárgyak segítségével a belvíz levonulása szabályozható. A vizek visszatartását kijelölt tározókban, ideiglenes tározókban, illetve alacsonyabb értékű mezőgazdasági területeken kell eszközölni, kivéve, ha jelentősebb értékek kerülnek közvetlen veszélybe.

A belvízrendszerek főbefogadója a Dong-éri-főcsatorna, amely az összegyűjtött vizet a Tisza folyóba vezeti. A gravitációs kivezetés csak igen szélsőséges (mértékadó) tiszai árhullám kialakulása esetén szűnik meg. Ebben az esetben az érkező vizek provizórikus szivattyúállás telepítésével és üzemeltetésével vezethetők tovább a főcsatorna 1+004 km szelvényében lévő ún. „Benedek” zsilipnél. Az árhullámok visszatartását jelenleg a Benedek-zsilip végzi. (Beruházás keretében torkolati zsilip/árvízi kapu építése van folyamatban.)

A Dong-éri-főcsatorna mentén jelentős belvíz visszatartására van lehetőség. A 22+243 km szelvényében található Péteritói-zsilippel szabályozható a felső szakaszon a vízszint. A zsilippel a belvizet a Péteri-tóba lehet vezetni. A belvítározáshoz rendelkezésre álló tározóteret október 20. és február 28. közötti időszakban kell biztosítani. A főcsatorna 58+600 – 60+240 km szelvénye között található Harkató 1,5 millió m³ belvíz tározásra kötelezett. Belvízvédelmi érdekből a tavak részleges, vagy teljes leürítését az ATIVIZIG bármikor elrendelheti.

A Dong-éri-főcsatorna egyik legjelentősebb mellékcsatornája a Csukás-éri-főcsatorna. A csatorna belvízelvezetés mellett tisztított szennyvizet is szállít. Vízkormányzásra a saját medrében kevés lehetőség van. Vízvisszatartást főleg a felső végénél elhelyezett bukós műtárgynál, a 40+946 km szelvényben kiépített záportározóban lehet eszközölni. Az alsó szakaszokon a nagy felszíni esésviszonyoknak köszönhetően tározási lehetőség nincs, ezért a betorkoló csatornák vizeinek vízvisszatartása elengedhetetlen belvizes időszakokban.

A Csukás-éri-főcsatorna 6+343 km szelvényből kiágazó Gátér-Fehértói-összekötőcsatorna rendeltetése a Félegyházi-főcsatornából max. 1 m³/s vízmennyiség átvezetése a Csukás-éri-főcsatornába, továbbá a Gátéri és Tömörkényi csatorna befogadója.

Az Alpári Holt-Tisza, amely az Alpár-Nyárlőrinci-főcsatorna vizét fogadja, amíg a holtág befogadó képes. Ha a holtág kieresztő tiltója a II. sz. zsilip a Tisza emelkedő vízállása miatt lezárásra kerül, a főcsatorna 6+635 km szelvényében lévő ún. „Baloghalmi tiltón” keresztül a holtág korlátozott befogadóképességének megfelelő mennyiségű belvíz vezethető át, így elkerülhető a holtág túláradása. Ilyen esetben a Csukás-éri-Nyárlőrinci-összekötőcsatornán keresztül 2 m³ víz vezethetőbe gravitációs úton a Csukás-éri-főcsatornába. A holtág befogadóképessége a lefolyástalan állapotra tekintettel max. 4,0 millió m³. Az Alpár-Nyárlőrinci-főcsatorna 8+800 km szelvényig lehetséges a vízvisszatartás a főcsatorna mentén elterülő rét és legelőkön.

Javaslat a vízkormányzás gyakorlatának átalakítására

A rendelkezésre álló numerikus modellezési kapacitás alkalmazásával (figyelembe véve az elöntések kezelésével felmerülő és a belterületi prioritásokat, illetve a visszatartásra alkalmas területek bevonását) az alábbi megfontolások alapján javasolható a vízkormányzási rend átalakítása (Kozák 2013, 2016):

- A jövőben alkalmazandó intézkedésekkel javítani kell a települések és lakott területek belvízbiztonságát.
- Az összegyülekezési folyamatok késleltetésére kell törekedni elsődlegesen a magasabb térszínű öblözetekben végrehajtott visszazárások alkalmazásával.
- A vízvisszatartásokat a csatornák menti, megfelelő morfológiai adottságokkal és területhasználattal rendelkező területeken célszerű megvalósítani.
- A vízvisszatartásra kijelölt területek kiválasztása során a belterületi kockázat növekedést nem okozó, „kivett” vagy „rét, legelő” művelési ágba sorolt területeket célszerű igénybe venni.
- A vízvisszatartásra alkalmas területek tulajdonosi hozzájárulását be kell szerezni.
- A vízvisszatartás tervezése során kerülni kell a jelentős vízmélységek kialakulását.
- A visszatartott vízmennyiségek felhasználásával kapcsolatban figyelembe kell venni, hogy a párolgás mértéke nyári időszakban a napi 10-15 mm-t is elérheti.
- A Gátér-Fehértói-összekötőcsatorna fejlesztésével alkalmas lesz nagyobb vízmennyiség (~3,1 m³/s) szállítására, ezáltal csökken a belvízi kockázat.

Umesto predgovora

„Ova studija ne bi mogla biti ostvarena bez...” je čest izraz u obaveznim delovima projektnih dokumenata, nakon čega se navode imena institucije, sponzora ili istraživačkog programa koji su pružili materijalnu podršku. Istovremeno u najvećem broju slučajeva malo zahvalnosti se posvećuje čoveku. Čoveku iz čije glave je potekla ideja za projekat, koji je dugotrajnim organizovanjem sklapao partnerstva, koji uspešno motiviše veliki broj kolega za rad, međunarodnu saradnju i praktičnu primenu naučnih rezultata u rešavanju problema iz svakodnevnog života. Čoveku, koji od početka do kraja koordinira ostvarenje projekta, učestvuje u svakom skupu, ako je potrebno drži predavanja i predsedava sekcijom, a kada je potrebno ostaje u drugom planu i ostavlja prostora za mlađe kolege, a pored svega, sa svojim izvanrednim strateškim osećajem tokom zajedničkog rada već postavlja temelje za naredne projekte. Čoveku bez kojeg zaista ne bi mogao biti ostvaren ne samo ovaj projekat i njegov zaključni dokument, već ni brojni drugi.

Ovakav Čovek je Gabor Mezeši, profesor Univerziteta u Segedinu, Departmana za fizičku geografiju i geoinformatiku koji je tokom svoje karijere duže od četrdeset godina pored svestrane obrazovne, istraživačke i naučno-rukovodilačke delatnosti preuzimao ključnu ulogu u organizaciji i realizaciji bezbroj domaćih i međunarodnih projekata. Time je između ostalog uspešno utemeljio saradnju sa više Fakulteta Univerziteta u Novom Sadu i sektorima JP Vode Vojvodine, odnosno produbio i obogatio značajnim naučnim sadržajem zajednički rad sa Vodoprivrednom direkcijom Donjeg Potisja. Primer rezultata njegove delatnosti je i ova knjiga, koju čitalac drži u rukama i u okviru koje bi želeli da izrazimo najdublju zahvalnost profesoru Gaboru Mezešiju za istrajan i požrtvovani rad, kojim je otvorio nove puteve i stvorio mogućnosti za dalju saradnju u budućnosti za sve učesnike Projekta.

Zahvaljujemo se!

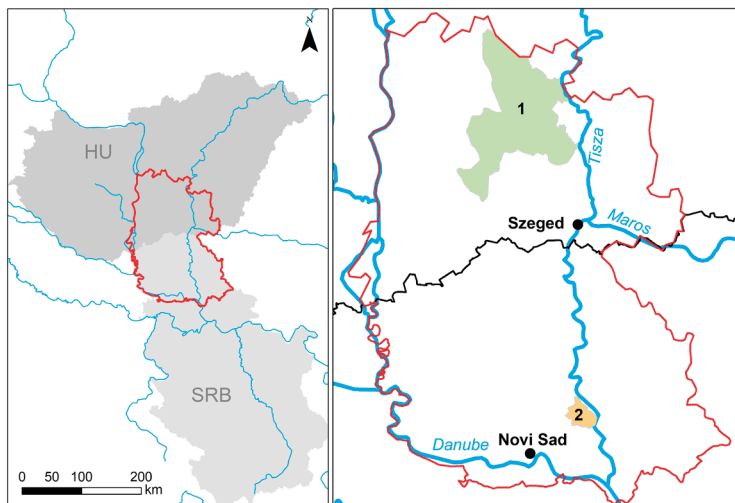
Projektni tim



1. Uvod

Viktória Blanka; Zsuzsanna Ladányi; Gábor Mezősi; János Rakonczai

Jedan od najvećih ekoloških problema današnjice su klimatski problemi, čiji se nepovoljan uticaj oseća na čitavoj Zemlji. U proteklih sto godina prosečna temperatura na Zemlji je povećana za $0,7^{\circ}\text{C}$ i sa aspekta padavina odvijale su se nepovoljne promene, jer na obe polulopte u širokim područjima umerenih pojaseva povećana je učestalost kako dugih perioda sa deficitom padavina, tako i pojedinačnih velikih količina padavina (OMSZ /Državna meteorološka služba/ 2019). Klimatske promene izrazito pogađaju i Panonsku niziju, koja spada među regije u kojima je rast temperature iznad proseka, a postali su sve učestaliji periodi sa ekstremnim iznosima padavina. Opisane promene naročito osetljivo pogađaju područja Alfelda, pa tako i posmatrano područje Južnog Alfelda (županije Čongrad i Bač-Kiškun), kao i područje Vojvodine (slika 1.1.). Zbog klimatskih promena i prirodno-geografskih karakteristika snabdevenost područja vodom se menja do krajnosti, pogađaju ga suše (Fiala et al. 2014), kao i suvišne unutrašnje vode (Bozán et al. 2013), koje se mogu naizmenično javljati u godinama koje slede, pa čak i u istoj godini. Upravo zbog toga na posmatranom području važno je geografsko praćenje problema u vezi klimatskih promena, kao i krajnosti vodnog režima, što ima tradiciju nekoliko decenija (Kovács 2007, Ladányi et al. 2011a, Rakonczai 2011).

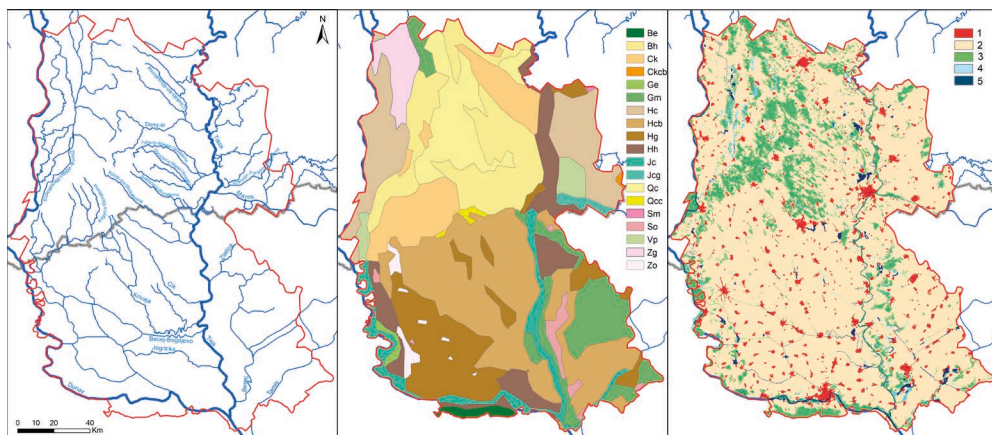


Slika 1.1. Položaj posmatranog područja

Na ovom području najveći deo čini ravničarski deo, gde je godišnja srednja temperatura 11°C , a godišnja količina padavina iznosi 500-600 mm. U najtoplijem mesecu, u julu srednja temperatura je karakteristično između 21°C i 23°C , dok se padavine u

letnjem polugodištu kreću oko 300 mm (Smailagić et al. 2013, OMSZ 2019). Posmatrajući tendencije klimatskih promena zadnjih decenija primetan je rast temperature i u blagoj meri smanjenje količine padavina (Blanka et al. 2013; Spinoni et al. 2013), na području prouzrokujući nedostatak padavina od 20-30 mm. Primetno je nadalje da je došlo do promena učestalosti ekstremnih meteoroloških situacija. Povećana je učestalost sušnijih godina od prosečne, sve je nepovoljnija vremenska raspodela padavina. Naročito leti se mogu primetiti velika padavina za kratko vreme, zbog kojih je povećano oticanje dragocenih količina vode (Mezősi et al. 2016).

Značajniji prirodni vodotoci su na ovom području Dunav, Tisa, Moriš i Tamiš, a uz njih površinske vodotokove čini veštačka mreža kanala (slika 1.2 a.). Paralelno sa klimatskim promenama može se primetiti prostorna i vremenska promenljivost količina površinskih voda (Kiss i Blanka 2012, Sipos 2006). Pored povećane opasnosti od poplava i plavljenja unutrašnjim vodama (npr. 2013. na Dunavu) zajedno se javlja i sa periodima malih voda, koje čine sve veći privredni, društveni i ekološki teret za posmatrano područje. Zbirno gledajući u regionu godišnji vodni bilans pokazuje trend smanjenja kako kod površinskih, tako i kod podzemnih voda. Površinsko oticanje je neznatno u većem delu godine, što u znatnoj meri doprinosi osetljivosti područja na klimu, kao i rastu stresa zbog voda u budućim periodima.



Slika 1.2. Mreža vodotokova, vrste zemljišta (FAO 1985) (Be: Eutrično smeđe zemljište; Bh: Smeđe humusno zemljište; Ck, Ckcb: Černozem, karbonatni; Ge: Eutrično glejno zemljište; Gm: Ritska crnica; Hc, Hcb: Livadsko zemljište, karbonatno; Hh: Livadsko zemljište, ogajnjačeno; Hg: Semiglej aluvijalno livadski; Jc: Aluvijalno zemljište, karbonatno; Jcg: Aluvijalno zemljište, oglejeno, karbonatno; Qc: Arenosol, kambični; Qcc: Arenosol, kambični, karbonatni; Sm: Solonjec, molični; So: Solonjec; Vp: Smonica; Vpg: Smonica sa glejom; Zg: Solončak sa glejom; Zo: Solončak) i korišćenje zemljišta (Corine 2018) (1: Veštačke površine; 2: Poljoprivredne površine; 3: Šume i područja sa pretežno prirodnom vegetacijom; 4: Močvarna područja; 5: Vodene površine)

Posmatrano područje je veoma šaroliko kako u pogledu vrste zemljišta, tako i u pogledu fizičkih karakteristika i vodnih kapaciteta zemljišta (slika 1.2b.). Dominantnom vrstom zemljišta možemo smatrati černozem i njegove razne varijante, koje

zbog svoje mrvičaste strukture obezbeđuju dobar vodni režim i korišćenje hranjivih materija za poljoprivrednu proizvodnju. Peskovita zemljišta (pesak, pesak sa sadržajem humusa, peskovita tla tipa černoziem) takođe imaju značajan udeo. Njihov svojstva u pogledu vodnog režima su takođe nepovoljna, jer imaju veliku moć upijanja vode, ali im je slaba sposobnost zadržavanja vode. Sa aspekta površina važno je još istaći poljsko zemljište, koje uglavnom ima srednju ili lošu moć upijanja vode i jaku moć zadržavanja vode.

U pogledu površinskog pokrivača i korišćenja zemljišta može se ustanoviti dominacija poljoprivrednih područja (slika 1.2c). U ovoj regiji u protekla dva veka značajna područja su uključena u poljoprivrednu obradu, pa je visok udeo agrarnih površina, dok je prirodna vegetacija relativno malo rasprostranjena. I na preostalim prirodnim područjima odvijaju se nepovoljni procesi, pošto zbog klimatskih promena zadnjih decenija, kao i usled ljudske aktivnosti na mnogim mestima suše se vodena staništa, što je praćeno degradacijom i promenama biljnog sveta (Rakonczai et al. 2014).

Ekstremne situacije vodnog režima prouzrokuju ozbiljne društveno-ekonomske i ekološke štete i mogu stvoriti značajne konflikte u upravljanju vodama. U periodima pojave unutrašnjih voda praksa u odvođenju suvišnih voda kod ekstremnih padavina izaziva konflikte i na unutrašnjim i na spoljnim prostorima, a u sušnim periodima do problema dolazi usled ograničenosti vodnih resursa i prakse u korišćenju vode. Brojni problemi se vezuju za navodnjavanje poljoprivrednih površina, jer bez obzira na relativno gustu kanalsku mrežu – u sadašnjim okolnostima – vodotokovi su jedva pogodni za navodnjavanje. Nedostatak površinskih voda za navodnjavanje u vreme odsustva padavina tj. suše poljoprivrednici zalivanje rešavaju iz podzemnih voda, što još više povećava smanjenje podzemnih voda, koje je i inače prisutno zbog klimatskih promena. Dodatni problem predstavlja što u regionu praksa zadržavanja voda odnosno eksploatacije nastalih korišćenih voda je još u povelju, stoga je u regiji neadekvatna upotreba nastalih vodnih tela (Rakonczai et al. 2014).

Ublažavanje nepovoljnih uticaja suše i unutrašnjih voda, rešavanje problema u korišćenju zemljišta i u upravljanju vodama zbog svega toga je jedan od najvažnijih kompleksnih ekoloških problema u regiji. Za efikasno rešavanje je važno prikupljanje detaljnog opisa situacije vodnog režima, što tačnijih i ažurnijih informacija, što bolje upoznavanje i kvantifikacija negativnih uticaja i rizika može činiti osnovu za planiranje efikasnih intervencija. Neophodno je planiranje vodnih tela i upravljanja vodama na nivou (malih) slivova, zatim je važna efikasna saradnja svih zainteresovanih u procesu planiranja i realizaciji planova.

Projekat i prikazani razvojni potezi koji čine pozadinu ove knjige, prvenstveno žele doprineti rešavanju predloženih problema i planiranju efikasnijem upravljanju vodama: razradom metoda regionalnog monitoringa za praćenje suše i nastajanja unutrašnjih voda, kao i prikupljanju informacija (2. 3. i 4. poglavlje), ocenom rizika i nastalih šteta (5. i 6. poglavlje), kao i osmišljavanjem sistema za upravljanje kanalskom mrežom, koji će biti zasnovani na detaljnijim i tačnijim podacima u odnosu na ranije periode. Za razradu razvojnih mogućnosti u upravljanju funkcionisanja kanala obavljena su detaljna ispitivanja na dvema oglednim područjima, u Čuruško-Žabaljskom slivu (Srbija, 7. poglavlje) i u slivu potoka Dong (Mađarska, 8. poglavlje) (slika 1.1.).

2. Monitoring i kartiranje plavljenja unutrašnjim vodama sa velikom tačnošću

Zalán Tobak; Boudewijn van Leeuwen; Ferenc Kovács; József Szatmári

Uvod

U periodima sa mnogo padavina na područjima bez površinskog oticanja vode koja se pritom nedovoljno infiltrira ili gubi kroz proces evapotranspiracije, odnosno gde ona dotiče putem podzemnih voda sa viših delova terena, pojavljuju se plitko plavljene površine. To su periodične suvišne unutrašnje vode (inland excess water) koje predstavljaju izvor ozbiljnih privrednih, ekoloških i socijalnih problema u nižim delovima Karpatskog basena.

Kartiranje plavljenja suvišnim unutrašnjim vodama je veoma važno sa 3 aspekta: (1) pomaže u razumevanju veze između faktora koji doprinose u nastajanju suvišnih unutrašnjih voda, (2) poznavanje mesta i veličine plavljenja omogućavaju preduzimanje operativnih aktivnosti na odvodnjavanju kojima se sprečavaju dalje štete, i (3) može se predvideti lokacija, mera i obim budućih poplava od suvišnih unutrašnjih voda, što može biti od pomoći u preventivnim aktivnostima (Szatmári i van Leeuwen, 2013).

Za kartiranje i monitoring suvišnih unutrašnjih voda primenjuju se 4 generalna metoda: (1) snimanje na terenu zahteva mnogo vremena, opterećeno je greškama, skupo je, a dobijene karte su često netačne. (2) Integrisanjem faktora koji utiču na nastanak suvišnih unutrašnjih voda u geografski informacioni sistem (GIS) mogu se izraditi karte ugroženosti, ali plavljenja koja su već nastala ne mogu se odrediti korišćenjem ove metode (Pálfai, 2003; Bozán et al., 2005; Bozán et al., 2009; Pásztor et al., 2014). (3) Kompleksni modeli za opis hidroloških procesa nastajanja suvišnih unutrašnjih voda zahtevaju veliku količinu ulaznih podataka, s toga se u regionalnim razmerama ne mogu efikasno koristiti. (4) Podaci prikupljeni satelitskom ili vazdušnom daljinskom detekcijom, koji podležu automatskoj obradi i analizi, pružaju informacije sa velikih površina, te nude optimalna rešenja za operativno kartiranje suvišnih unutrašnjih voda na regionalnom nivou. U sklopu korišćenja ovog pristupa, u proteklih 30 godina realizovano je više istraživačkih projekata upotrebom avio snimaka (Liciskó et al., 1987; Rakonczai et al., 2003; van Leeuwen et al., 2012), multispektralnih satelitskih snimaka (Csornai et al., 2000; Rakonczai et al., 2001; Mucsi and Henits, 2010, van Leeuwen et al., 2013) i hiperspektralnih podataka (Csendes and Mucsi, 2016). Pored pasivnih, optičkih senzora stečena su prva iskustva i u primenljivosti aktivnih, radarskih podataka (Csornai et al., 2000; Csekő, 2003; Gálya et al., 2016, Gulácsi és Kovács, 2019).

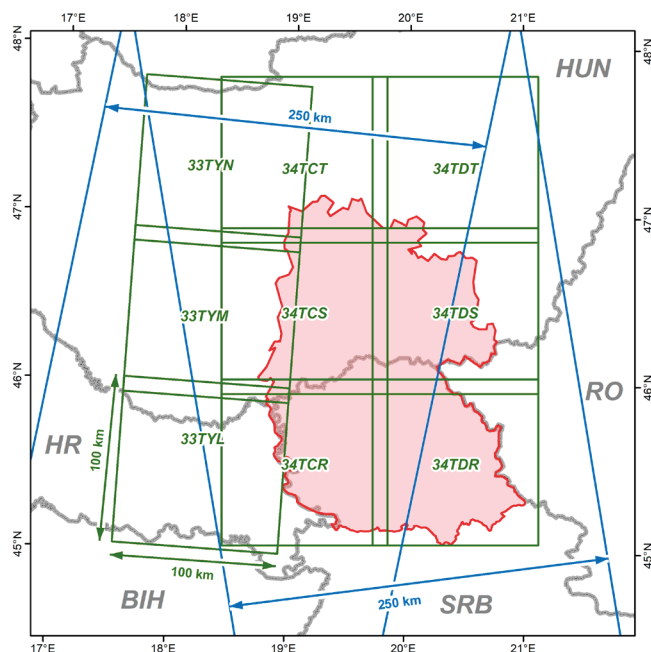
Operativnu primenu satelitskih snimaka uveliko je pomoglo uspostavljanje satelitskih sistema za osmatranje Zemlje sa adekvatnom prostornom rezolucijom (min. 10-30 m) i sa sve boljim vremenom povratka. U okviru programa Copernicus Evropske svemirske agencije (ESA) od 2014. lansirana je porodica satelita Sentinel za potrebe raznih oblasti primene, između ostalog i za multispektralne i radarske snimke (Malenovský et al., 2012). Aktivni senzori satelita Sentinel 1A i 1B bez obzira ne meteorološke prilike pružaju radarske, a sateliti Sentinel 2A i 2B pružaju multispektralne podatke nedeljno 2-3 puta.

Radni proces razvijen u okviru projekta Water@Risk koristeći satelitske snimke Sentinela 1 i Sentinela 2 u stanju je na operativan način proizvesti nedeljne karte plavljenja suvišnim unutrašnjim vodama u regionalnim razmerama.

Posmatrani prostor i podaci

Posmatrani prostor projekta Water@Risk obuhvata 2 županije južne nizije Mađarske (Bač-Kiškun i Čongrad), kao i pokrajinu Vojvodinu u Srbiji. Topografski uslovi, niski reljefni oblici, klimatski uslovi i karakteristike zemljišta pogoduju nastajanju suvišnih unutrašnjih voda. Najveći deo ovog prostora je poljoprivredno zemljište, zbog čega često nastaju znatne ekonomske štete.

Čitavo posmatrano područje (oko 27.000 km²) pokriveno je sa 3 uzlazne i 2 silazne Sentinel 1 zone, kao i 9 kom Sentinel 2 sekcija (slika 1).



Slika 2.1. Zone Sentinel 1 (plavo) i Sentinel 2 ploče (zeleno) na posmatranom prostoru

Karte plavljenja suvišnim unutrašnjim vodama izrađuju se na osnovu podataka satelita Sentinel 1 i Sentinel 2.

Sentinel 1

Faza procesa obrade na bazi radara koristi snimke Sentinel 1A i 1B. Ova dva satelita o posmatranom prostoru otprilike svaka tri dana daju punu pokrivenost zahvaljujući tehnologiji aktivne daljinske detekcije u C-pojasu, bez obzira na doba dana i vremenske uslove. Proizvodi Level-1GRD koji se slobodno mogu skinuti sa servera ESA čine ulazne podatke. Senzor u tzv. Interferometric Wide (IW) režimu proizvodi snimak širine površine 250 km sa prostornom rezolucijom 20x10 m (Malenovský et al., 2012). Paketi podataka podjednako sadrže slojeve vertikalno-vertikalne (VV) i vertikalno-horizontalne (VH) polarizacije, koji se u celosti koriste u radarskom procesu rada. U ovoj studiji koristili smo podatke Sentinel 1 iz perioda 26. mart - 1. april 2018. (13. nedelja) i 2 - 8. april 2018. (14. nedelja) (Tabela 1).

Tabela 2.1. Zbirni parametri korišćenih podataka

Izvor podataka	Datum (broj produkta)	Prostorna rezolucija/ Prostorni obuhvat / razmera	Spektralna rezolucija / Tematika
Sentinel 1			
Nedelja 13.	28.03.2018.(3) 29.03.2018. (5) 30.03.2018. (4) 31.03.2018. (3)	20x10 m / 250 km width	C-opseg (5,405 GHz)
Nedelja 14.	03.04.2018. (2) 04.04.2018. (5) 05.04.2018. (2) 06.04.2018. (3)		
Sentinel 2			
Nedelja 13.	28.03.2018. 31.03.2018.	B2: 10m B3: 10m B4: 10m B5: 20m B6: 20m B7: 20m B8: 10m	B2: 492,4 / 492,1 nm B3: 559,8 / 559,0 nm B4: 664,6 / 664,9 nm B5: 704,1 / 703,8 nm B6: 740,5 / 739,1 nm B7: 782,8 / 779,7 nm
Nedelja 14.	02.04.2018. 03.04.2018. 05.04.2018. 08.04.2018.	B8A: 20m B11: 20m B12: 20m 100x100 km sekcije	B8: 832,8 / 832,9 nm B8A: 864,7 / 864,0 nm B11: 1613,7 / 1610,4 nm B12: 2202,4 / 2185,7 nm

Izvor podataka	Datum (broj produkta)	Prostorna rezolucija/ Prostorni obuhvat / razmera	Spektralna rezolucija / Tematika
Avionski snimak	28.03.2018.	10 cm / 20 km ²	Stvarne boje (RGB)
CORINE Land Cover	1998 / 2018	1:50000 / 1:100000	vodni objekat / močvarno područje / veštačke površine
High Resolution Layers	2009-2015	20 m	stalne i povremene vode i vodom zasićene površine
Google Earth (GeoEye / Pleiades)	2017-2018	0,41 / 0,5 m	Stvarne boje (RGB)
OpenStreetMap	razno	-	stambeno područje, put, železnica, jezero i akumulacija

Sentinel 2

Sateliti Sentinel 2A i 2B pružaju multispektralne snimke sa 5-dnevnim povratnim periodom. U vidljivom (VIS), blisko infracrvenom (NIR) i kratkotalasno infracrvenom (SWIR) opsegu na raspolaganju je ukupno 13 pojasa sa prostornom rezolucijom 10-20-60 m (Tabela 1). Sa servera ESA besplatno se mogu preuzeti proizvodi Sentinel 2A u obliku pločica 100x100 km, koje sadrže vrednosti površinske refleksije bez uticaja atmosferskih smetnji. U procesima rada koji se zasnivaju na optičkim podacima koristili smo 10 pojaseva ovog paketa podataka (B2-B3-B4-B5-B6-B7-B8-B8A-B11-B12), kao i sloj sa informacijama o oblačnosti, tzv. sloj za klasifikaciju scene (scene-classification). U okviru ovog istraživanja obradili smo snimke Sentinel 2, koji su sačinjeni 28. i 31. marta 2018. i 2, 3, 5. i 8. aprila 2018. (Tabela 1).

Dopunski podaci

Kako procesi rada na bazi radara, tako i na bazi optičkih snimaka zahtevaju dopunske podatke. Oni s jedne strane igraju ulogu u razvoju algoritama, s druge strane preciziraju rezultirajuće karte plavljenja suvišnim unutrašnjim vodama maskiranjem onih površina na kojima se – prema definiciji – ne mogu javiti suvišne unutrašnje vode. Otvorene vodene površine koje predstavljaju referentni set podataka potiču iz snimaka CORINE Land Cover razmere 1:50000 i 1:100000, a stalne vodene površine (Büttner et al., 2014) iz pan-evropskih slojeva visoke rezolucije (High Resolution Layers - HRS), koji su ažurirani i precizirani pomoću snimaka visoke rezolucije Google Earth-a (Tabela 1). Set podataka sa maskama uključuje gradska područja, veštačke površine poljoprivrednog zemljišta, puteve, železnicu, jezera, reke - i plavna područja ograničena nasipima -, zatim vlažna staništa, koja su dobijena iz baza podataka CORINE i OpenStreetMap-a. Takođe, sa snimka Sentinel 2 su na početku obrade, na osnovu sloja maske oblaka, bila isključena područja pokrivena oblakom ili senkom oblaka.

Avio snimci

Za validaciju rezultata prikupljali smo podatke vazdušnom daljinskom detekcijom iz vazduha. Na raspolaganju smo imali senzore koji su postavljeni na krilima aviona Cessna 172, odnosno na dronu fiksnih krila eBee X, i to: PhaseOne P65+ rezolucije 60 MP, odnosno senseFly S.O.D.A RGB kamere rezolucije 20 MP, kao i multispektralni senzor Parrot Sequoia rezolucije 1,2 MP. Snimanje iz vazduha smo obavili 28. marta 2018. na delu uzorka, SI od Senteša, na površini od oko 20 km² prostornom rezolucijom od 10 cm. Od pojedinačnih snimaka sastavljen je ortofoto-mozaik.

Metoda

Metodologija izrade karata plavljenja suvišnim unutrašnjim vodama sastoji se od koraka - predobrade i obrade. Unutar druge grupe izdvajaju se algoritmi za radar i dva algoritma za multispektralne snimke iz čijih se rezultata korakom integracije izrađuje binarna karta plavljenja. Dobro automatizovana i operativno primenjiva metodologija ne vrši kategorisanje različitih tipova suvišnih unutrašnjih voda, ali pruža informacije o plavljenju na nedeljnom nivou i sa srednjom rezolucijom (10 m).

Predobrada

U toku predobrade, koristeći OpenData API i OpenData API, obavlja se automatsko preuzimanje proizvoda Sentinel 1 GRD i Sentinel 2 L2A za istraživano područje sa ECA servera.

Radarski snimci Sentinel 1 zahtevaju kompleksnu geometrijsku i radiometrijsku predobradu, što uključuje radiometrijsku kalibraciju, eliminaciju šumova, korekciju distorzije koja nastaje zbog topografije površine i geometrije snimanja sa strane, kao i korekciju tzv. lokalnih ulaznih uglova (van Leeuwen et al., 2017). Pikseli 10x10 m tako dobivene rasterske datoteke sadrže dB vrednosti od površine odbijenih radarskih signala (backscattering).

Optički podaci Sentinel 2 već se preuzimaju u delimično obrađenom obliku (Level2A), koji sadrže površinsku refleksiju. Od 13 pojasa snimanja uzimaju se podaci iz njih 10, pa se pretvaraju u jedinstvenu rezoluciju od 10 m. Područja pokrivena različitim tipovima oblaka ili njihovim senkama na svim satelitskim snimcima su maskirana. Za to smo koristili tzv. sloj za klasifikaciju scene (scene classification), koji je bio uključen u preuzeti paket podataka.

Obrada za oba izvora podataka bila je ograničena na područja ugrožena suvišnim unutrašnjim vodama (Pálfi, 2003).

Predobrada satelitskih snimaka je izvršena korišćenjem softvera ESA SNAP (Sentinel Application Platform), primenom pokrenutih modela.

Obrada

Analiza radarskih podataka na bazi graničnih vrednosti

Na osnovu referentnog sloja koji prikazuje otvorene vodene površine, iz VV i VH pojaseva su uzeti osnovni statistički podaci površina pokrivenih vodom (minimum, maksimum, prosek, standardna devijacija dB vrednosti). Upotrebom tih podataka definisane su granične vrednosti za otvorene vodene površine. Pošto je odbijanje radarskih signala sa vodenih površina – uz pretpostavku da nema talasanja i vrtloženja – niže nego sa drugih površina, na slikama sa pikselima ispod granične vrednosti može se pretpostaviti prisustvo vode.

Automatska klasifikacija multispektralnih podataka

Na snimcima Sentinel 2 izvršena je ISODATA klasifikacija, a dobijene klase su upoređene sa prosečnim spektrom referentnih površina. Spektralna sličnost je izračunata na osnovu odstupanja uglova izmerenih u 10-dimenzionom prostoru određenih pojasevima snimanja (Kruse et al., 1993), zatim su rangirane klase i među njima su one sa najmanjom razlikom, odnosno najvećom sličnošću, označene sa „površina pokrivena vodom“. I u ovom slučaju je kao rezultat dobijena binarna karta (ima vodenog pokrivača | nema vodenog pokrivača)

Proračun spektralnog indeksa

Na osnovu multispektralnih snimaka izračunat je MNDWI (Modified Normalized Differential Water Index), za koji su korišćeni vidljivi zeleni (B3) i jedan kratkotalasno infracrveni (B11) pojas (1. i 2. jednačina) (Xu, 2005). Na indeksnoj karti smo definisali granične vrednosti uz pomoć osnovnih statističkih podataka o vrednostima indeksa izračunatim za referentne oblasti, koje su bile pogodne za određivanje površina pokrivenih suvišnim unutrašnjim vodama. Rezultat i u ovoj fazi rad je binarna karta plavljenja suvišnim unutrašnjim vodama.

$$MNDWI = \frac{\rho_{green} - \rho_{SWIR}}{\rho_{green} + \rho_{SWIR}} \quad (\text{Eq. 1})$$

koji se, upotrebom pojaseva Sentinel-a 2, razvija na sledeći način:

$$MNDWI_{\text{Sentinel-2}} = (3\text{pojas} - 11.\text{ pojas} / (3.\text{ pojas} + 11.\text{ pojas})) \quad (\text{Eq. 2})$$

Integracija

U poslednjem koraku smo integrisali binarne karte koje su rezultat radarske i multispektralne faze rada. Broj ovih karata je određen brojem satelitskih snimaka koji su dostupni i koji se mogu obraditi u toku jedne nedelje u određenom vremenskom periodu. Ovim integrisanim kartama plavljenja suvišnim unutrašnjim vodama može se pridodati parametar pouzdanosti, jer na osnovu svih dostupnih ulaznih podataka i postupaka obrade definišu udeo vodenog pokrivača na datoj slici.

Validacija

Za validaciju dobijenih integrisanih karata plavljenja suvišnim unutrašnjim vodama koristili smo zone suvišnih unutrašnjih voda pribavljenih na osnovu avio snimaka. Na blizu 20 km² putem metode unakrsnog proračuna analizirali smo odnos in-situ posmatrane vodene površine i predviđene vodene površine koju smo dobili u toku postupka obrade.

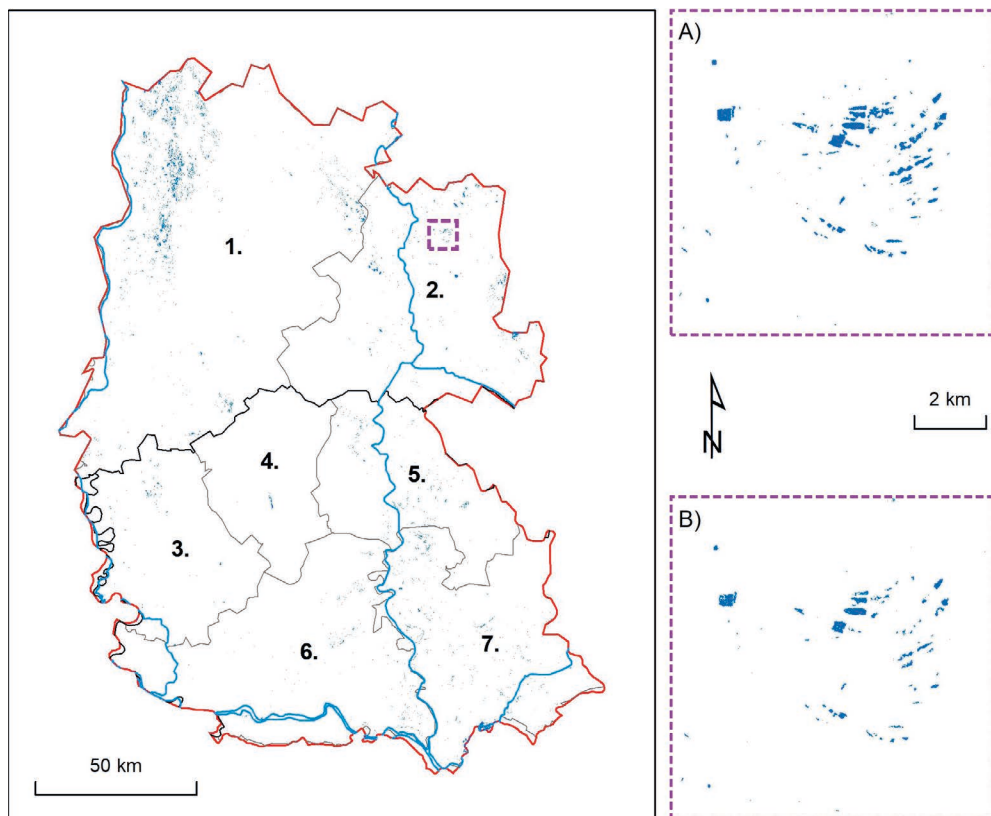
Rezultati

Karte suvišnih unutrašnjih voda

U proleće 2018. na posmatranom području došlo je do značajnog plavljenja suvišnim unutrašnjim vodama. U nastavku prikazaćemo karte suvišnih unutrašnjih voda tokom 2 izabrane nedelje (13. nedelja: 29. mart – 1. april 2018. / 14. nedelja: 2 – 8. april 2018.) koje su generisane na osnovu snimaka satelita Sentinel (slika 2). Ukupno je obrađeno za 13. nedelju 42 (15+27), a za 14. nedelju 33 (12+21) proizvoda.

Radi poboljšanja pouzdanosti rezultata smatrali smo vodom pokrivenim površinama samo one elemente slike, na kojima su algoritmi obrade na najmanje 40% dostupnih snimaka pokazali plavljenje suvišnim unutrašnjim vodama.

Na celom prostoru detektovali smo vodeni pokrivač površine 17.800 ha, odnosno 10.990 ha. Najviše pogođena područja su: SZ deo županije Bač-Kiškun, gde su detektovana pretežno prirodna vodena staništa, zatim Potisko područje u Mađarskoj i u Srbiji, gde su suvišne unutrašnje vode pretežno ugrožavale poljoprivredno zemljište. Može konstatovati da je vremenom, tokom 14. nedelje, došlo do blagog smanjenja površine poplavljenog područja (slika 2).



Slika 2.2. Suvišne unutrašnje vode na istraživnom području krajem marta / početkom aprila 2018. (1. Bač-Kiškun, 2. Čongrad, 3. Zapadna Bačka, 4. Severna Bačka, 5. Severni Banat, 6. Južna Bačka, 7. Južni Banat)

Validacija

Referentni podaci za validaciju metode potiču od aero snimaka koji su sačinjeni 28. marta 2018. (13. nedelja). Na osnovu vrednosti dobijenih unakrsnom tabulacijom, 93,6% plavljenja ustanovljenih u toku procesa rada označava stvarne zone suvišnih unutrašnjih voda (tačnost korisnika, istinito pozitivna), dok stepen precenjenosti iznosi svega 6,4% (greška komisije, lažna pozitivna) (Tabela 2). Treba međutim napomenuti, da prvenstveno zbog različite rezolucije ulaznih podataka i terenskih snimaka, kao i subjektivnih činilaca u formiranju referentne karte, na sloju rezultata pokazano je svega 5,4% referentnih zona suvišnih unutrašnjih voda. To znači da je stepen podcenjenosti (greška izostavljanja, lažno negativna) veoma visok.

Tabela 2.2. Rezultati validacije karte suvišnih unutrašnjih voda na osnovu analize 13. nedelje

Tačnost proizvođača:5.42

Potcenjivanje94.58

Tačnost korisnika:93.58

Precenjivanje:6.42

Referentne vrednosti

<div></div>	otvorena voda	ostale vode	nema vode
nema vode	94.55	99.97	98.58
vodolež	5.42	0	0.03
maska	0.03	0.03	1.39

Detektovano

Referentne vrednosti

<div>®</div>	otvorena voda	ostale vode	nema vode
nema vode	6.88	3.39	89.72
vodolež	93.58	0	6.42
maska	0	0	0

Detektovano

Diskusija i zaključci

Metodologija razvijena za detekciju plavljenja suvišnim unutrašnjim vodama obradom radarskih, optičkih i multispektralnih satelitskih snimaka može pružiti informacije o plavljenju na nedeljnom nivou. Svaki korak radnog procesa se može automatizovati, stoga je metoda pogodna i za operativnu upotrebu.

Ograničenja metode prvenstveno se mogu svesti na karakteristike ulaznih podataka: (1) Prostorna rezolucija rezultujuće karte naravno ne prelazi rezoluciju ulaznih podataka (maks. 10 m), pa realno je obezbeđena identifikacija vodenih zona koja su za red veličine veća od te rezolucije. (2) U slučaju korišćenja optičkih podataka, oblačnost je najveća upravo u periodima za koje su karakteristične suvišne unutrašnje vode, pa često nedostatak podataka sprečava punu prostornu pokrivenost. (3) Jačina reflektovanih radarskih signala može pokazati velike varijacije u slučaju vodenih površina različite hrapavosti – talasasta naspram ravna površina – pa se teško mogu tačno definisati primenjene granične vrednosti. Vrsta površinskog pokrivača, kao i tip zemljišta takođe u značajnoj meri utiču na intenzitet radarskog signala sa površine suvišnih unutrašnjih voda.

Metoda ne pravi razliku između suvog zemljišta, otvorenih površina pod suvišnim unutrašnjim vodama, vegetacije u vodi i vodom zasićenog zemljišta, pa se na binarnoj rezultujućoj karti pojavljuju samo kategorije otvorenih vodenih površina i suvih zemljišnih površina. Za identifikaciju biljaka u vodi i na zemljištu zasićenom vodom bili bi potrebni dodatni ulazni podaci, čija bi integracija zahtevala mnogo resursa i mogla bi ograničiti mogućnost automatizacije procesa obrade.

Potrebno je ostvariti napredak u postupku određivanja i kalibracije što tačnijih graničnih vrednosti pri obradi radarskih signala za područja sa različitim površinskim

pokrivačima i različitim zemljištima. Brojni izazovi stoje i na putu rešavanja problema oblačnosti i povećavanja tačnosti na multispektralnim snimcima takođe predstavlja. Rešavanjem navedenih nedostataka može se još više smanjiti precenjivanje površina zahvaćenih suvišnim unutrašnjim vodama.

Takođe, potrebno je poboljšati metodologiju validacije: neophodno je terensko i vazdušno pribavljanje podataka vršiti istog dana kada se obavlja i satelitsko snimanje, i mora se osigurati standardizacija interpretacije aero snimaka.

Razvijena metoda omogućuje redovno kartiranje plavljenih površina suvišnim unutrašnjim vodama na velikim površinama – na regionalnom, ili čak nacionalnom nivou – što je zahvaljujući automatizaciji već pogodno za operativnu upotrebu.

Rezime

Ranije metode kartiranja suvišnih unutrašnjih voda oslanjale su se na terenske podatke prikupljenje na licu mesta u određenom trenutku, ili eventualno na aero snimke ili satelitske snimke. Metoda razvijena u okviru projekta pogodna je za kontinuirano praćenje plavljenja suvišnim unutrašnjim vodama velikih površina uz operativnu upotrebu dobijenih podataka. Radarski i optički satelitski snimci koji su postali dostupni proteklih godina svojom rezolucijom sve više se približavaju prostornim i vremenskim skalama fenomena suvišnih unutrašnjih voda, nudeći time, u isto vreme, nove mogućnosti i izazove. Karte koje su rezultat automatizovanog procesa rada, mogu biti od koristi nacionalnim vodoprivrednim organizacijama u pogledu ublažavanja šteta, a mogu dopuniti ili precizirati rezultate terenskih merenja koja se i dalje primenjuju.

3. Monitoring suše na osnovu vlažnosti zemljišta pomoću daljinske detekcije i terenskih merenja

Boudewijn van Leeuwen; Károly Barta; Zsuzsanna Ladányi; Viktória Blanka, György Sipos

Uvod

Suša se smatra trajnom atmosferskom pojavom, koju možemo okarakterisati kao pojavu sa količinom padavina mnogo manjom od prosečnih i/ili bitno većim temperaturama od prosečnih. Usled toga nastaje značajan i trajan deficit vode (WMO, GWP, 2016). Za numeričko iskazivanje suše razrađeni su brojni indeksi (npr. Palmer, 1965; Pálfi, 2004, Balint et al., 2011, Zargar et al, 2011), koji u obzir uzimaju pretežno klasične meteorološke parametre (padavine, temperatura, itd.), a pri tome zapostavljaju činjenicu da u datoj meteorološkoj situaciji na intenzitet suše u značajnoj meri utiče stanje vlažnosti zemljišta. Deo indeksa to pokušava na indirektan način ugraditi u karakterizaciju suše pomoću količina padavina u periodu koji je prethodio suši, kao što npr. u Mađarskoj u najširoj primeni se nalazi Palfajev indeks suše (Pálfi, 2004). Drugi indeksi uzimaju u obzir i vlažnost zemljišta, ali često to čine ne na osnovu direktnih merenja na terenu, već pomoću simuliranih vrednosti (npr. Narasimhan, Srinivasan, 2005). Uloga vlažnosti zemljišta istovremeno se ne javlja samo u regionalnoj modifikaciji intenziteta suše, nego i u prostornoj diferencijaciji suše u zavisnosti od raznih tipova zemljišta unutar datog područja (zemlje, regije, predela). Za primere iz Mađarske i Srbije mogu se navesti, da na peskovitom zemljištu između Dunava i Tise ista meteorološka situacija prouzrokuje mnogo težu sušu, nego na černoziem zemljištu istočno od Tise. U Mađarskoj nedostatak vode za gornji sloj od 1 m računa se na osnovu procene Nacionalne meteorološke službe (OMSZ) o vlažnosti zemlje koja je zasnovana na simulaciji (Chen, Dudhia, 2001; Horváth et al., 2015, OMSZ 2019a).

Za terensko merenje vlažnosti zemlje postoje brojne mogućnosti. Kako u domaćoj, tako i u međunarodnoj praksi najrasprostranjenije su metode na osnovu dielektričnih stalnih merenja, a od njih merenje zapreminske vlažnosti TDR-tehnikom (Time Domain Reflectometry) (Kirkham, 2014). U okviru jednog ranijeg projekta (WAHA-STRAT, HUSRB/1203/121/130; 2013-2014) u južnoj niziji i u Vojvodini postavili smo ukupno 16 takvih meteoroloških mernih stanica, koje obavljaju i merenje vlažnosti zemljišta na 6 različitih dubina (10, 20, 30, 45, 60 i 75 cm) (Barta et al., 2014). Nakon ove mreže stanica 2016. godine došlo je do postavljanja sistema monitoringa vlažnosti zemljišta (koji se stalno proširuje) na celoj teritoriji zemlje (Fiala et al., 2018), o

čijem radu brine Nacionalna direkcija vodoprivrede (OVF). Broj stanica do leta 2019. dostigao je 47 (OVF Monitoring suše 2019).

Bez obzira na monitoring koji se širi i horizontalno i vertikalno, stručnjacima još uvek predstavlja ozbiljan izazov izrada mape aktuelne vlažnosti zemljišta državnih razmera, jer prostorna distribucija rezultata tačkastih merenja u slučaju vlažnosti zemljišta nailazi na brojne poteškoće. Bez namere navođenja svih faktora, svakako treba navesti prostornu razuđenost hidrofizičkih svojstava zemljišta (npr. tekstura, hidraulička vodopropusnost u uslovima zasićenosti, zbijenost), ulogu makro- i mikro-reljefa u kretanju vlažnosti, uticaj na vlažnost raznolike upotrebe i namene zemljišta, kao i pokrivenost površine. Povrh svega na prostoru fiksno postavljenih stanica za monitoring ne može se odvijati poljoprivredna delatnost, pa razlike u zemljišnom pokrivaču i nedostatak obrade zemljišta dovodi u pitanje reprezentativnosti podataka o vlažnosti zemljišta. Rešenje ovog složenog zadatka može se naći primenom metoda daljinske prostorne detekcije koje neprekidno pružaju podatke.

Daljinska detekcija putem satelita omogućava razradu i primenu takvih algoritama, koji omogućavaju prikupljanje informacija sa velikih prostora Zemljine površine i to jedinstvenim metodama. Procena vlažnosti tla pomoću satelitskih podataka predstavljala je takav izazov, kojim su se detaljnije bavili stručnjaci u protekle tri decenije (Srivastava et al., 2016). Primenjivali su metode približne procene vlažnosti zemljišta zasnovane na optičkim, termalnim, infracrvenim i mikrotalasnim senzorima na velikim površinama. Barret i Petropoulos detaljno razmatraju ove pristupe (2014). Najveći broj metoda za analizu vlažnosti zemljišta putem satelitskih podataka u današnje vreme zasniva se na mikrotalasnim podacima. Postavljanjem radarskih satelita Sentinel 1 ovaj pravac je postao naročito perspektivan. Nažalost zasad nemamo na raspolaganju rešenje za vlažnost zemljišta od srednje do visoke rezolucije, upravo zbog toga u toku istraživanja primenili smo jedan optički-termalni infracrveni pristup.

Zbog velike prostorne i vremenske razuđenosti sadržaja vlage u zemljištu teško je izraditi tačne procene za velike površine. Tačkasta merenja su reprezentativna u slučaju relativno malih površina, dok satelitska merenja integrišu merenja na veliku površinu, a rezultate čuvaju u jednom pikselu. Kalibracija i validacija merenja na osnovu satelita terenskim merenjima upravo zbog toga predstavlja težak zadatak.

Cilj našeg istraživanja je da obezbedimo neprekidno prikupljanje podataka o vlažnosti zemljišta zasnovanih na satelitskim merenjima za projektno područje (u Mađarskoj županije Čongrad i Bač-Kiškun, i pokrajina Vojvodina u Srbiji). Da bi se indeks vlažnosti zemljišta (SMI) dobijen na ovaj način pretvorio u sadržaj vlage zemljišta (SMC) izražen u zapreminskom procentu (zapreminski sadržaj vlage, koristi se uglavnom u pedologiji), SMI mape rađene na osnovu satelitskih podataka pokušali smo kalibrisati terenskim merenjima sadržaja vlage zemljišta. Ovo poglavlje će prikazati metode istraživanja i iskustva stečena u toku projekta.

Metode

Predstavljena metoda se zasniva na satelitskim podacima i to na indeksu vegetacije MODIS MOD13 16 dnevnim kompozitima i na MODIS MOD11 podacima o temperaturi Zemljine površine. Ti podaci se prikupljaju već od 2000. godine i baš zbog toga su pogodni za dugoročne studije i neprekidni monitoring. Podatak o vegetaciji nastaje tako što se maksimalna vrednost NDVI čuvamo za svaki pojedinačni piksel u jednom 16-to dnevnom intervalu (Huete 1999). Na taj način uticaj oblaka i drugih smetnji se minimizira, pa možemo dobiti podatke koji se odnose na čitavo posmatrano područje. Pretpostavljamo da je u toku šesnaestodnevnog perioda stanje vegetacije relativno stabilno. Prostorna rezolucija podataka je 250 x 250 metara. Temperaturu Zemljine površine merimo svaki dan u prostornoj rezoluciji od 500 metara (Wang 1999). Nakon registracije obe ulazne datoteke mogu se preuzeti i slobodno koristiti.

Optička metoda na osnovu TIR zasniva se na pretpostavci da su razlozi temperaturnih razlika na područjima pod sličnom vegetacijom u promenama sadržaja vlage zemljišta (Vicente-Serrano et al., 2004). Algoritam je izrađen upotrebom python skriptova i arcpy biblioteke za geoprocesiranje (Slika 1.).



Slika 3.1. Proces obrade indeksa vlažnosti zemljišta

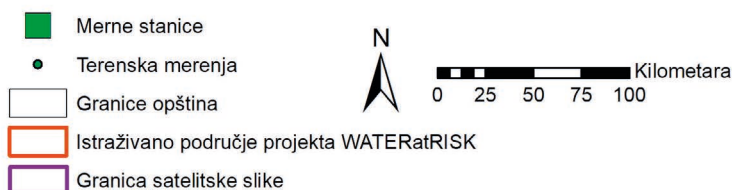
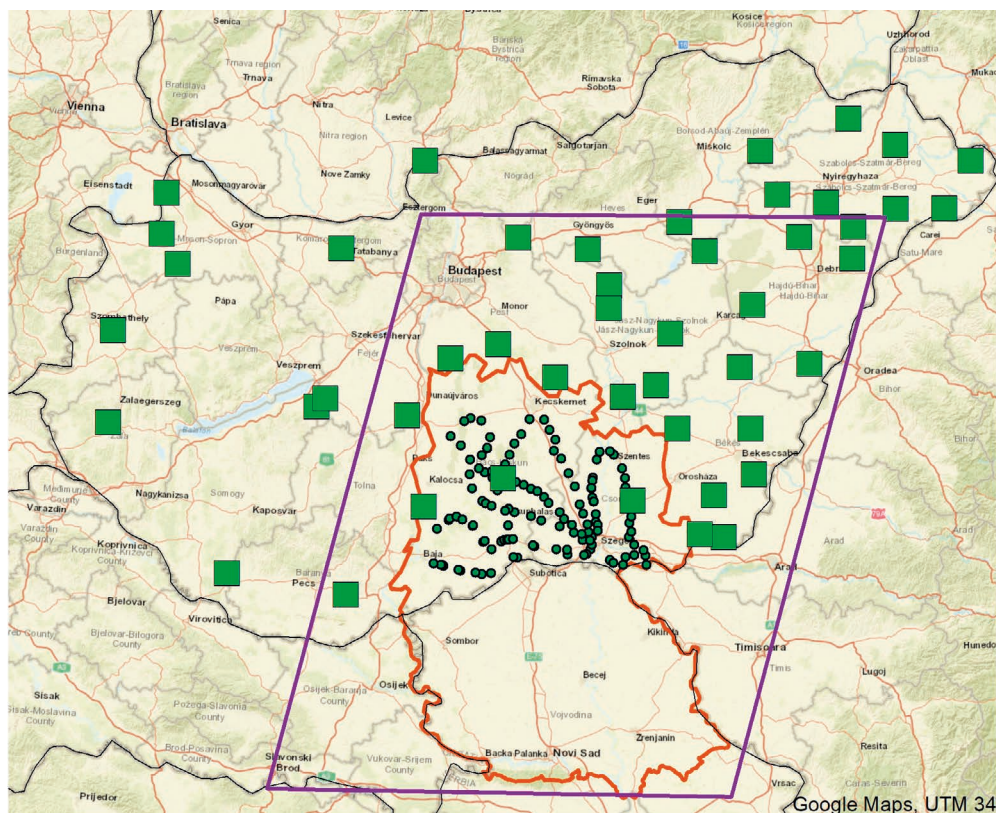
Za određivanje podataka o tome, koje površine su pokrivene sličnom vegetacijom, koristimo sloj NDVI iz proizvoda MOD13. Upotrebom sloja pouzdanosti istog proizvoda MOD13 odstranjujemo piksele neodgovarajućeg kvaliteta. Vršimo normalizaciju preostalih piksela i svrstavamo ih u 10 kategorija sa istom širinom. Samo ako smo definisali sve kategorije (koje imaju svoje piksele), onda možemo u potpunosti

odrediti algoritam i mogu se obraditi podaci o temperaturi. Sloj temperature površine Zemlje vadimo iz proizvoda MOD11. U toku dalje obrade koristimo samo piksele dobrog kvaliteta. Za svaku fazu vegetacije / klasu uzimamo podatke o minimalnim i maksimalnim temperaturama, a linearna veza između temperature Zemljine površine i indeksa sadržaja vlage u zemljištu unutar klase određujemo pomoću (1)

$$SMI_{i,c} = \frac{LST_{c,min} - LST}{LST_{c,max} - LST_{c,min}} + 1 \quad (1)$$

u kojem $SMI_{i,c}$ je indeks vlažnosti zemljišta piksela i u klasi c . Na taj način stvaramo 10 SMI mapa, pridodajući svakoj klasi vegetacionog perioda indeks vlažnosti zemljišta. Kombinacijom raznih SMI mapa dobijamo SMI mapu celog posmatranog područja. Ta zbirna mapa sadrži vrednosti indeksa 0 (minimalan sadržaj vlage zemljišta) i 1 (maksimalan sadržaj vlage zemljišta). SMI mape se mogu sačiniti ukoliko imamo na raspolaganju dovoljnu količinu piksela u podacima za vegetaciju i o površini Zemljine površine i ako su određene sve klase vegetacije.

Da bi se SMI mape mogle pretvoriti u zapreminski% sadržaj vlage zemljišta po jedinici, potrebno je pojedine mape kalibrisati terenskim merenjima. Za kalibraciju podataka koristimo dve metode. Prva metoda se zasniva na podacima iz mreže stanica za merenje vlažnosti zemljišta nacionalne vodoprivredne organizacije (OVF Monitoring suše 2019). Ova mreža se marta 2009. sastojala od 47 stanica, od kojih 27 se nalazi na području kojim se bavi ova studija (Slika 2.). Te stanice mere sledeće pokazatelje: temperaturu vazduha, sadržaj vlage u zemljištu na 6 različitih dubina, temperaturu zemljišta u 6 različitih dubina, relativnu vlažnost vazduha i količinu padavina. Automatsko preuzimanje podataka sa svake stanice na svakih sat vremena se obezbeđuje pomoću PHP i CURL API-a. Koristimo Python skript za preuzimanje podataka o vlažnosti zemljišta na dubini od 10 cm za period od 1. januara 2017. i 30. marta 2019. godine. Ukoliko smo imali na raspolaganju SMI mapu, onda smo indekse vlažnosti zemljišta uzimali iz SMI mapa za geografski položaj mernih stanica i uporedili smo ih sa terenskim merenjima 11:00 UTC, što je manje-više jednako vremenu prolaska satelita MODIS. Na taj način za svaki dan se vršio proračun koeficijenta determinacije između merenja na osnovu satelita i terenskih merenja. Ukoliko je koeficijent determinacije bio veći od 0,5, originalnu SMI mapu smo kalibrisali upotrebom nagiba i preseka u osi merenja na terenu i na taj način smo dobili konačnu SMC mapu.

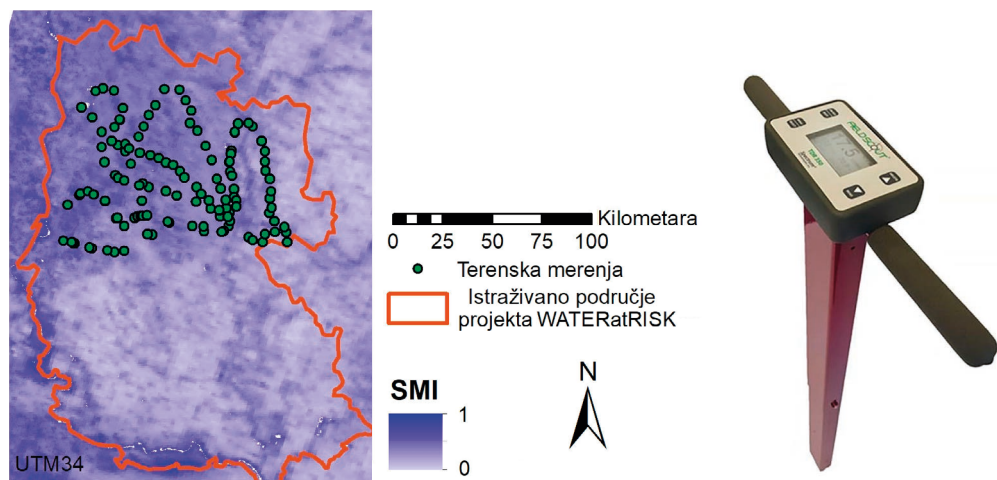


Slika 3.2. Posmatrano područje sa stanicama za merenje vlažnosti zemljišta i tačkama terenskih merenja u okviru istraživanja dana 27. marta 2019.

Osnove druge metode za kalibraciju obezbedila je serija terenskih merenja dana 27. marta 2019. Tog dana četiri ekipe su posetile dato područje da bi se pomoću prenosivih senzora FieldScout TDR350 izmerio sadržaj vlažnosti zemljišta. Ti senzori direktno u zapreminskom procentu određuju prosečnu vlažnost gornjeg sloja zemljišta od 12 cm, a zahvaljujući ugrađenom GPS modulu mernim podacima pridodaju i koordinate. Svaka ekipa je na oko 35 mesta merila sadržaj vlage zemljišta, pokrivajući razdaljinu od oko 200 km po ekipi (Slika 2.). Mobilna sredstva su omogućila, da u mernim podacima bude dobro prezentovan način korišćenja zemljišta i tip zemljišta na pojedinim delovima analiziranog područja. Prilikom izbora mernih tačaka važan aspekt je bio da se merenja obave na parcelama takve veličine, koje pokrivaju barem jedan piksel na MODIS snimcima daljinske detekcije. Imajući u vidu rezoluciju slika

od 250 x 250 m, cilj je bio izbor parcela od najmanje 500 x 500 m. Najveći deo su bile oranice, a među njima je bilo i pašnjaka, voćnjaka (vinograda) i šuma.

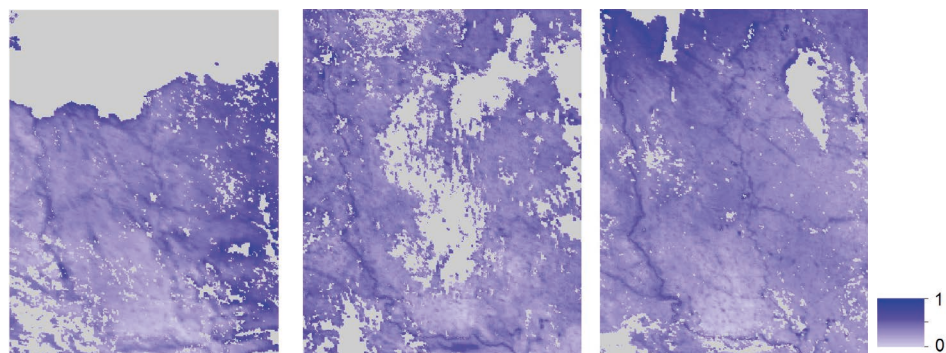
Na istim mestima gde je obavljeno terensko merenje, iz SMI mape za dati dan uzimali smo podatke za indekse o vlažnosti zemljišta (Slika 3.). Za ta mesta smo izračunali koeficijent determinacije, kako bi smo ustanovili, koliko je jaka veza između procena na osnovu satelitskih podataka i merenja na terenu.



Slika 3.3. Serija terenskih merenja 27. marta 2019., kao i instrument za merenje FieldScout TDR350

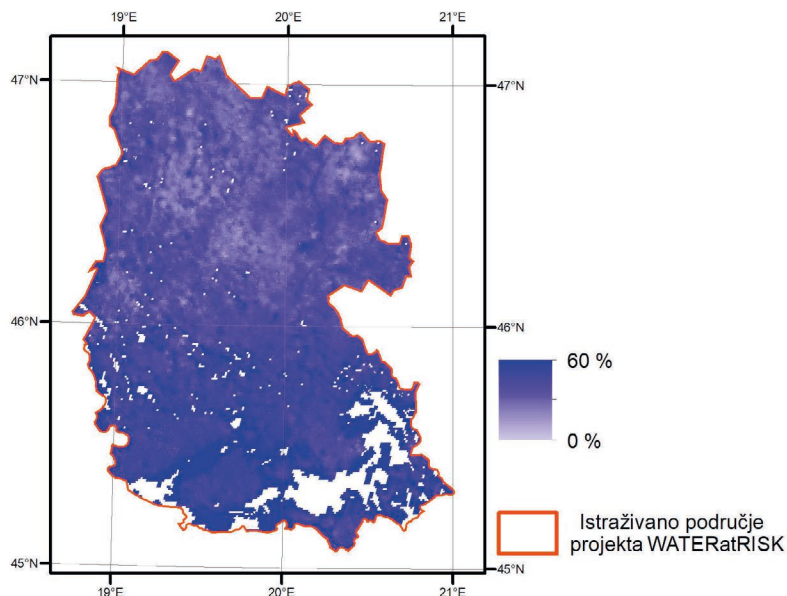
Rezultati

Mape vlažnosti zemljišta sačinjene pomoću satelita smo uporedili sa podacima 27 stanica za merenje vlage zemljišta u periodu od 1. januara 2017. i 29. marta 2019. Za 630 dana smo mogli proizvesti SMI mape na osnovu satelitskih podataka, ali mnogi snimci su rađeni kada je bilo oblačno, pa su velike površine ostale bez SMI vrednosti (Slika 4.).



Slika 3.4. Mape indeksa vlažnosti zemljišta sa različitim količinama nedostajućih podataka (sivi delovi) za 1. januar 2017. (s leve strane), 25. april 2017. i 12. novembar 2018. (s desne strane)

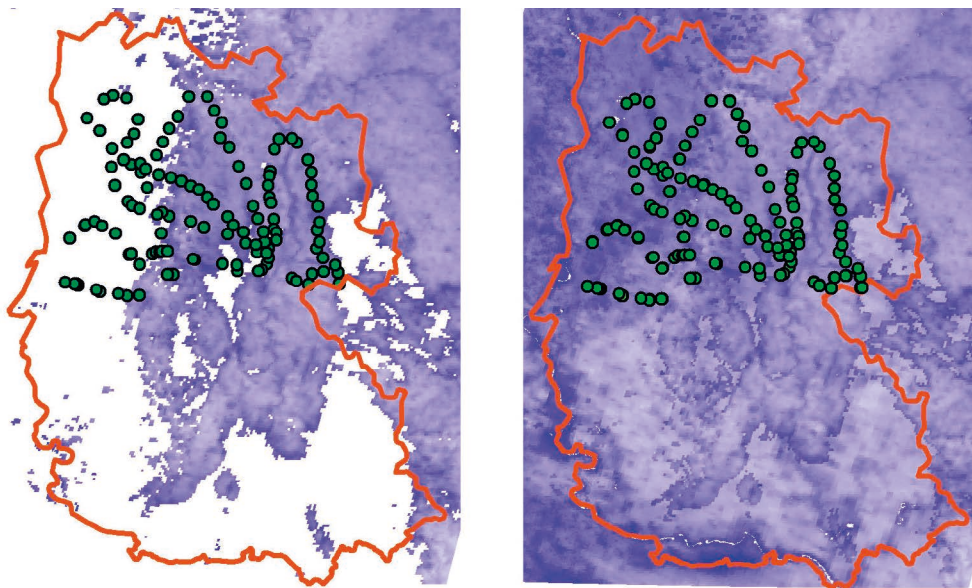
Za utvrđivanje veze između podataka terenskih merenja i dobijenih putem satelita, na osnovu našeg iskustva smo utvrdili da su potrebne najmanje četiri tačke. U mnogim slučajevima taj uslov nije ispunjen, jer su se merne stanice nalazile na takvim geografskim lokacijama, za koje nismo imali na raspolaganju SMI podatke. Jednačina regresije mogla je biti određena za 440 dana (70%). Dodatno ograničenje su predstavljali mnogi slučajevi u kojima je koeficijent determinacije bio veoma nizak. Odlučili smo se da ćemo podatke mernih stanica za merenje vlažnosti zemlje koristiti za kalibraciju SMI mape, ukoliko je veza bila pozitivna, a koeficijent determinacije je bio veći od 0,5. Kao rezultat toga dobili smo 27 (to je 7,5% perioda od 630 dana) SMI mapa (Slika 5.).



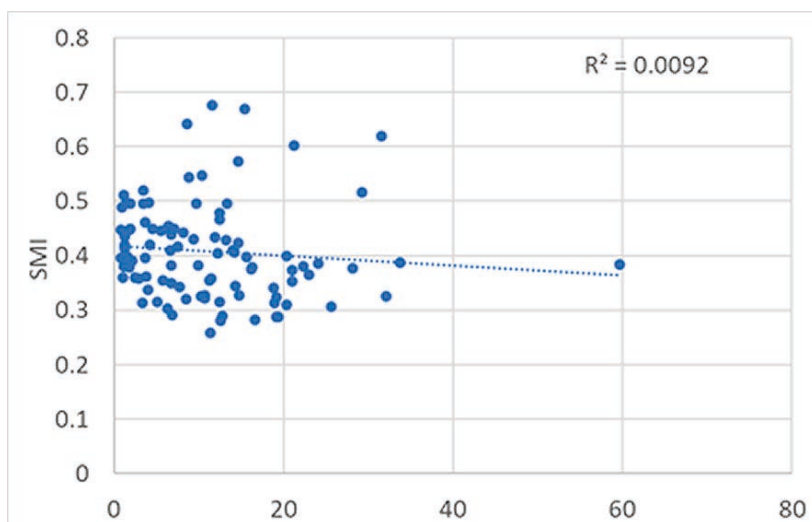
Slika 3.5. Mapa sadržaja vlage zemljišta kalibrisana podacima stanica za merenje vlažnosti zemljišta OVF-a, 14. jul 2018.

Rezultat obavljenih merenja vlažnosti zemljišta 27. marta 2019. bila je *in situ* skup podataka o 136 merenja vlažnosti zemljišta. Te podatke smo uporedili sa satelitskom SMI mapom za 28. mart 2019. Zato smo doneli tu odluku, jer je snimak dana kada su obavljena terenska merenja bila oblačna i na mnogim mestima nismo imali podatke na raspolaganju (Slika 6.)

Na osnovu koordinata pojedinih terenskih merenja SMI podatke smo uzimali iz onog piksela, koji se nalazio tačno na tom mestu. Te podatke smo prikazali u jednoj funkciji sa vrednostima sadržaja vlažnosti zemljišta koje su dobijene terenskim merenjima, pa smo izračunali koeficijent determinacije (slika 7.). Nažalost nije se mogla utvrditi statistička veza među vrednostima. Imali smo niz pokušaja da stvorimo partitivne skupove podataka na osnovu korišćenja zemljišta i tipa zemljišta, ali koeficijent determinacije je i u tom slučaju bio blizak 0.



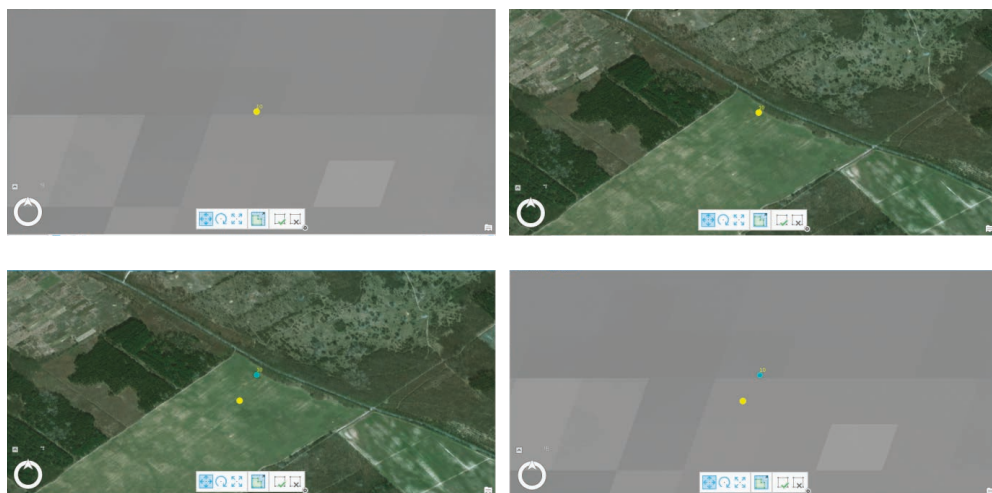
Slika 3.6. Raspoloživi podaci za 27. mart 2019. i 28. mart 2019



Slika 3.7. Relacija vrednosti volumetrijskih terenskih merenja vlažnosti zemljišta (horizontalna osa) i satelitskih vrednosti indeksa vlažnosti zemljišta (vertikalna osa) (ceo skup)

Vrednosti indeksa vlažnosti zemljišta na osnovu satelitske tehnike indirektno smo izveli iz optičkih, podataka blisko infracrvenom području, kao i termalnih podataka izmerenih za dato područje, što smo integrisali u jednu vrednost celom pikselu. Terenska merenja vlažnosti zemljišta su tačkasta merenja koja su karakteristična za neposredno okruženje merenja. Glavni razlog što nema veze između dva skupa podataka je to, što je tako velika razlika u srazmeri. Drugi razlog može biti to što

je teško ustanoviti koji piksel satelitskog snimka sadrži vrednost indeksa sadržaja vlage zemljišta tačno u tački merenja. Ako poklopimo dva skupa podataka, vidimo da jedna tačka može se nalaziti na graničnoj liniji dva piksela (Slika 8. levo gore). Kada na jednom satelitskom snimku veoma velike rezolucije analiziramo razmeštaj tačkastih merenja, vidi se da tačka označava veliko polje na južnom delu (Slika 8. gore). Taj problem smo rešili tako, što smo ove tačka premestili u onaj piksel, u kojem smo s velikom šansom dobili vrednost bliže stvarnoj (Slika 8. levo dole i desno dole). Na žalost i ova manuelna korekcija nije obezbedila bolji koeficijent determinacije.



Slika 3.8. Manuelna adaptacija terenskih merenja radi poboljšanja dobijanja SMI vrednosti. *Levo gore: žutom označeno prvobitno mesto tačkastog merenja na SMI mapi (u sivoj boji) Desno gore: prvobitno mesto tačkastog merenja na satelitskom snimku veoma visoke rezolucije Levo dole: prvobitno tačkasto merenje (ovde plavom označeno) premestili smo na pravo mesto (označeno žutom). Desno dole: novo mesto tačke na SMI podatku.*

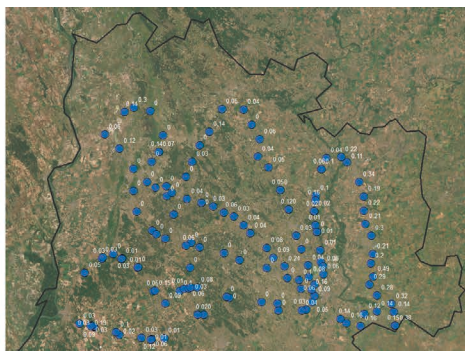
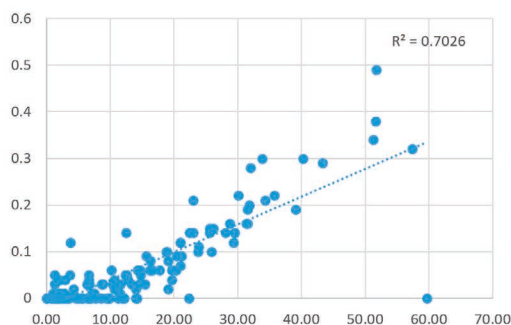
Jedan drugi primer za pogrešno prikazivanje tačkastih merenja vidi se na slici 9. Tačkasto merenje premešteno na SMI fajl izgleda kao da predstavlja jedan piksel, a zapravo piksel se sastoji od integrisane vrednosti indeksa vlažnosti zemljišta, koja se zasniva na veoma različitom načinu korišćenja zemljišta, npr. izgrađena površina, šuma i polja sa različitim poljoprivrednom delatnošću (na slici 9. desno).



Slika 3.9. Primer mešovite upotrebe zemljišta

Od izabranih tačaka zemaljske interpretacije jedan od najvažnijih očekivanja jeste da budu stvarno na takvoj parceli sa homogenim korišćenjem zemljišta, čije dimenzije u oba pravca nadmašuju dvostruku prostornu rezoluciju satelitskog snimka. Čak i na ovakvim homogenim parcelama mogu predstavljati problem razlike u temperaturi odn. sadržaju vlage, koje su nastale usled uticaja mikoreljefa (slika 8). Nažalost na posmatranom prostoru kako na peščanim površinama sa živim reljefom, tako i na blago talasastoj površini lesne ravni u Bačkoj u udubljenjima i na grebenima postoje značajne razlike u sadržaju humusa (u boji) i u sadržaju vlage. U predstavljenoj kampanji merenja dodatni izvor greške može biti da je snimanje obavljeno u suvom periodu i da se front isušivanja nalazio na dubini od 8-15 cm. Dakle, vrednost izmerena senzorom dužine 12 cm je proizvedena je kao prosek isušene gornje površine i vlažnog sloja ispod. Prema našim iskustvima idealno vreme za kalibraciju je period koji počinje 5-6 dana posle kišovitoog perioda, kada u zavisnosti od hidrofizičkih svojstava zemljišta isušivanje je u toj fazi da postoje znatne razlike kako u temperaturi zemljišta, tako i u vlažnosti zemljišta, ali gornji sloj tla još nije isušen.

Dalje iskustvo kampanje merenja je bilo to, što su izmerene vrednosti vlažnosti zemljišta pokazale jake veze sa sadržinom soli zemljišta (Slika 10/a). Slika 10/b pokazuje prostornu razućenost sadržaja soli i na njoj dobro se vidi da u tačkama snimljenim u područjima preko Tise sadržaj soli pokazuje mnogo veće vrednosti nego na područjima između Dunava i Tise. Međutim ukoliko uzmemo tačke u kojima je sadržaj soli veći od 0,06%, i povezanost upoređujemo ne samo sa zemljištem koje pokazuje slatinasta svojstva, veza se ne može dokazati. Kao zaključak nameće se rešenje, da kod organizacije sledeće kampanje merenja bilo bi svrsishodno za kalibraciju primeniti merenje sadržaja vlage zemljišta na nekim drugačijim metodološkim osnovama.



Slika 3.10. Veza vlažnosti zemljišta i sadržaja soli na posmatranom području (a) i vrednosti sadržaja soli izmerene za vreme kampanje merenja (b)

Zaključci

U toku testiranja razrađene metode naišli smo na brojne limitirajuće faktore koji otežavaju primenljivost kalibracije. U sledećem periodu projekta na osnovu dosadašnjih iskustava organizovaćemo dalje kampanje merenja, kada ćemo terenska merenja obaviti nakon vlažnog perioda, kako bi smo u što širem opsegu mogli obezbediti podatke o vlažnosti zemljišta, zatim obratićemo veću pažnju na prethodnu selekciju većih i homogenih tačaka. Pored mobilnih uređaja koji primenjuju TDR metodu, uzećemo i uzorke zemljišta. Sadržaj vlage ćemo izmeriti i u laboratoriji (m/m%), čime ćemo eliminisati eventualni uticaj slatinastih svojstava. Trenutno stvorene i neprekidno publikovane SMI mape za sada daju podatke o relativnoj vlažnosti zemljišta, koje ne odražavaju apsolutni zapreminski postotak, ali su ipak pogodne da predstavljaju trenutne prostorne razlike u vlažnosti zemljišta. Pored sve bolje prostorne rezolucije radarski podaci pogodni su za eliminisanje problema oblačnosti, ali njihova kalibracija i validacija za sada još takođe nije rešena.

4. Prikupljanje podataka daljinskom detekcijom i analiza podataka s ciljem monitoringa vegetacije različitih razmera od 2000. do danas na jugoistoku Panonske nizije, Mađarskoj i Vojvodini

Ferenc Kovács; Zsuzsanna Ladányi; Viktória Blanka; Péter Szilassi;
Boudewijn van Leeuwen; Zsolt Tobak; András Gulácsi; Elemér Szalma;
László Cseuz

Uvod

Biomasa (površinski pokrivač) je od osnovne važnosti sa aspekta klimatskih promena, s toga moramo raspolagati sa tačnim i ažurnim podacima o stanju vegetacije, čak i u globalnim razmerama. Kao indikator klime, signalizira trendove promena koje se mogu registrovati korišćenjem metodologija daljinske detekcije (Ladányi et al. 2011, Gulácsi i Kovács 2018, Szabó et al. 2019). Promenjeni uslovi u suštini najavljuju smanjenje biološke produktivnosti, pa je ključno pitanje ispitivanja okruženja jeste da li će poljoprivreda i šumarstvo biti u stanju da se prilagode okolnostima koje se neprekidno menjaju?

Zahvaljujući zadovoljavajućoj vremenskoj rezoluciji snimanja, multispektralno posmatranje vegetacije praktično može biti podrška prostornom planiranju u blisko realnom vremenu. U periodu koji je predmet naše analize, između 2000. i 2018. izvršena je obrada i analiza preko 450 snimaka na bazi piksela, a ta količina podataka raste uključivanjem aktuelnih satelitskih snimaka. Za obradu je neizbežna automatizacija, metodologija *big data*, koju smo rešili putem platforme Google Engine, koja je slobodno dostupna (Kumar és Mutanga 2019). Cilj nam je prostorna analiza veza između suše i anomalija vegetacije, čiji aktuelni rezultati postaju dostupni na interaktivnoj web stranici projekta.

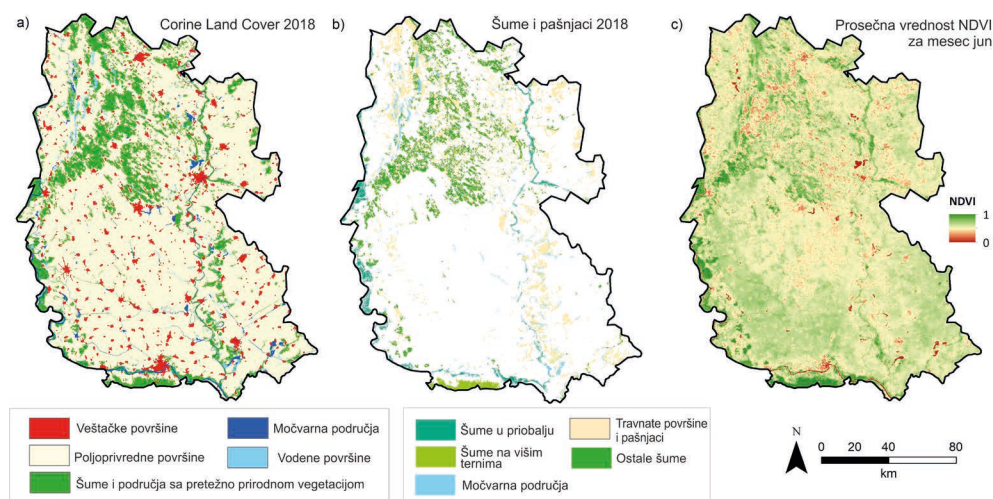
Posmatrano područje, na osnovu osetljivosti šumskih eko sistema na sušu, jedna je od naročito ugroženih regija zbog klimatskih promena. Ovde, održivo korišćenje zemljišta koje može da se adaptira klimatski promenama je usko povezano sa očuvanjem i poboljšanjem stanja šumskih ekosistema (Mátyás et al. 2010). Površine sa drvenastim rastinjem mogu koristiti vodu iz slojeva koji su bliski podzemnim vodama, pa su pogodni za analizu dogotrajne suše, dok su zeljaste biljke travnatih površina, livada i oranica osetljive na sušu koju prouzrokuje kratkotrajni nedostatak padavina.

Naši rezultati su jedinstveni za region, stoga savršeno komplementiraju prostorne rezultate onih evropskih i nacionalnih GIS sistema za praćenje suša koji proučavaju uticaje klimatskih promena u većim vremenskim i prostornim razmerima (European Drought Observation, Drought Watch, TEMRE, NATÉR).

Analizirana je produkcija biomase na poljoprivrednim zemljištima na osnovu MODIS 250 m satelitskih snimaka visoke vremenske rezolucije koristeći LUCAS bazu podataka. Parcele na kojima je uzgajan kukuruz analizirane su nekoliko godina. Takođe, sumirane su mogućnosti primene eBee X bespilotne letelice u monitoringu vegetacije visoke prostorne rezolucije.

Posmatrano područje i metode

Analizu produkcije biomase za celo posmatrano područje smo ispitivali pomoću satelitskih snimaka niske rezolucije (Slika 4.1/a.). U protekla dva veka značajne površine su privedene kulturi, tako da je na malim površinama opstala prirodna vegetacija, kao što su lesne pustare, peščare ili plavne šume. Usled pošumljavanja, na severnim delovima istraživanog područja, u Mađarskoj, postoje značajne površine pod drvenastom vegetacijom, dok u Vojvodini dominiraju poljoprivredne površine. Zbog toga što ne postoji zajednička detaljna prostorna baza podataka o prinosima useva, analize su izvršene za relativno konstantne kategorije zemljišnog pokrivača: različite tipove šumske vegetacije, livade, pašnake, močvare i vladna staništa, za period posle 2000. godine (slika 4.1/b.). Identifikacija kategorija zemljišnog pokrivača izvršena je na osnovu Corine Land Cover baze podataka razmere 1:100.000 iz 2018. godine. Na satelitskim snimcima MODIS male rezolucije sezonske promene i odstupanja mogu se razlikovati na osnovu homogenih ćelija. Zbog osetljivosti metoda daljinske detekcije na heterogenost površine trebalo je odabrati homogeno pokrivene piksele. Pikseli sa 75% homogenosti pokrivača su korišćene za monitoring šumskih površina u Mađarskoj (TEMRE), Kovács (2018) je vršio analize na osnovu piksela sa 66% homogenosti pokrivača, dok Kern. et al. (2017) su koristili piksele na kojima je zemljišni pokrivač 99% homogen. Na istraživanom području izdvojeni su pikseli MODIS snimaka sa bar 50% homogenim zemljišnim pokrivačem, odnosno površina od 6265 km² je detaljno istraživana, što predstavlja 38% od ukupnog istraživanog područja. Nakon filtriranja, analizirano je 37% površina pod livadama i pašnjacima, 70% površina pod šumama na višim terenima, oko 40% šumskih površina u nizijama i plavnim područjima, kao i 26% vodenih staništa i močvara koja su klasifikovana na osnovu CLC2018. Stepenn pokrivenosti analiziranih površina sa zeljastim odnosno drvenastim biljkama je blizu 50-50%; većina šuma su ravničarske šume (2130 km²), a manje su prisutne šume na višim terenima (200 km²).



Slika 4.1. Zemljišni pokrivač na osnovu Corine Land Cover-a (2018) (a), područja šuma, poljana, livada, pašnjaka i vodenih staništa (b), kao i mapa prosečnih vrednosti NDVI u junu (2000-2017) na posmatranom području (c)

Primena spektralnih indeksa u analizi monitoringa suše

Testirali smo četiri uobičajena spektralna indeksa; Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Enhanced Vegetation Index (EVI), Normalized Difference Water Index (NDWI) i Normalized Difference Drought Index (NDDI). Slobodno dostupni osmodnevni MODIS MVC (Maximum Value Composit) rezolucije 500 m, pikselu pridodaje reflektansu putanje koja predstavlja maksimum NDVI; $NDVI_{max}$ vrednost osmodnevnog perioda geometrijski će uvek biti tačnija. Indeksi računati na osnovu MVC pouzdaniji su u odnosu na dnevne podatke (Huete et al. 2002). Obrada snimaka MOD09A1 i proizvoda MOD13A1.006 je izvršena je na platformi Google Earth Engine.

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$

$$EVI = G \cdot ((NIR - Red) / (NIR + C1 \cdot Red + C2 \cdot Blue + L))$$

$$NDWI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$$

$$NDDI = (NDVI - NDWI) / (NDVI + NDWI)$$

gde su NIR: blisko infracrvena, SWIR: kratkotalasna infracrvena, Red: crvena, Blue: plava talasna dužina; $L=1$; $C1=6$; $C2=7,5$; $G=2$.

Prema Kern et al. (2017) i Gulácsi i Kovács-u (2018) ima osnova da se istovremeno koristi više indeksa, jer savršeni indeks ne postoji. Njihova vrednost je između -1 i +1. U slučaju NDVI i EVI što je veća vrednost indeksa, tim je veća posmatrana fotosintetička aktivnost. Na biološki složenim područjima NDVI je dobar u proceni promena, ali na područjima sa mnogo biomase naginje ka zasićenosti što prouzrokuje

probleme u sačinjavanju skale. EVI je osetljiviji na visoku produkciju biomase. Bolje definisani vrh, uži opseg predstavlja prednost u eliminisanju zasićenosti i naglašenije prikazuje gubitak lišća, redukuje uticaj površine i atmosfere. Značajan deo regionalnih osmatranja zasnovan je na MODIS EVI rešenjima (Huete et al. 2002, Solano et al. 2010).

NDWI odražava sadržaj vlage u lišću biljaka, a ako se smanjuje sadržaj vlage, u SWIR opsegu dolazi do povećane refleksije. Prema rezultatima Szabó et al. (2016) NDWI ne dodaje značajnije plus vrednosti oceni na bazi NDVI, ali prema mišljenju Jackson et al. (2004) i Gu et al. (2007) u proceni sadržaja vlage NDWI se bolje pokazao. Statistička veza među ova dva indeksa ogleda se u NDDI indeksu suše koji se bazira na njima. U slučaju suše vrednosti indeksa vode se brže i u većoj meri smanjuju nego indeks vegetacije, pa pozitivno odstupanje NDDI signalizira sušu. Validacija na istraživanom području je pokazala da indeksi NDVI i NDWI daju realistične rezultate u poređenju sa meteorološkim merenjima na, dok prema drugim podacima daljinske detekcije EVI daje rezultate bliže stvarnim (Kern et al. 2017, Gulácsi i Kovács 2018, Kovács 2018).

Pored analize višegodišnjih proseka standardizovana anomalija daje stepen izloženosti sve većim hidrološkim krajnostima koje je prognozirao i Mezősi et al. (2016). Na osnovu toga se može definisati nedostatak vlage u analiziranom periodu, koja može prouzrokovati smanjenje produkcije biomase ili da vremenski pomera njenu dinamiku.

$$NDDI_{\text{standardizovan}} = (NDDI - NDDI_{\text{prosek}}) / NDDI_{\text{dispersija}}$$

Pokazatelji površine pod zeljastim pokrivačem uglavnom su konzistentni sa pojavom suše, dok šume ne pokazuju uvek sličnost sa meteorološkim anomalijama (Kern et al. 2017).

Analiza stanja vegetacije poljoprivrednih zemljišta primenom LUCAS baze podataka

Kod monitoringa poljoprivrednih useva poteškoće stvara činjenica da u regionalnim razmerama nemamo na raspolaganju prostorne podatke o različitim prinosima. Kao rešenje primenili smo MODIS-ove snimke s najvećom prostornom rezolucijom od 250 m i visoke vremenske rezolucije. Pokušali smo oceniti vrednosti krive biomase na osnovu 16-to dnevnog MVC EVI indeksa na parcelama kukuruza koje smo odredili pomoću baze podataka LUCAS, jer od svih poljoprivrednih kultura kukuruz je najosetljivija biljka na sušu. U bazi podataka sa terenskim snimanjem, koji se ažurira svake treće godine, na fotografijama određenih tačaka se registruje korišćenje zemljišta.

Odabrali smo tačke pod kukuruzom za godine 2006, 2009, 2012 i 2015. U blizini izabrane tačke nema drugačijeg korišćenja zemljišta, pa indeks vegetacije odražava stvarne okolnosti za kukuruz. Krive produkcije biomase po tačkama klasifikovali smo prema prostoru i vremenu po pojedinim godinama i glavnim vrstama predela.

Prema Palfaijevom indeksu suše (PAI) od posmatranih 4 godina, 2006. godina je bila s mnogo padavina ($PAI_{\text{Segedin}}=4.25$), dok godine 2009. ($PAI_{\text{Segedin}}=8.26$), 2012. ($PAI_{\text{Segedin}}=13.97$) i 2015. ($PAI_{\text{Segedin}}=10.10$) mogu se smatrati sušnim godinama. Prostornu analizu smo vršili za 4 različite regije (Bačka, Istočno od Tise, Podunavlje, prostor između Dunava i Tise), kako bi smo na područjima sa različitim prirodno-geografskim karakteristikama analizirali prostorne promene posledice suše.

Mogućnost monitoringa vegetacije veoma velike rezolucije

Za analizu na nivou parcela važno je prikupit podataka velike prostorne rezolucije, što nam u istraživanjima omogućio dron sa fiksnim krilima senseFly eBee X upotrebom senzora za vidljivu svetlost S.O.D.A. i senzor za infracrveni opseg Parrot Sequoia+. Primenjena rezolucija od 8 cm daje mogućnost za detaljan monitoring vegetacije, čak i na površinama od 20-30 km². U proleće 2019. se stvorila mogućnost za analizu uticaja sušnog perioda na parcelama pod pšenicom.

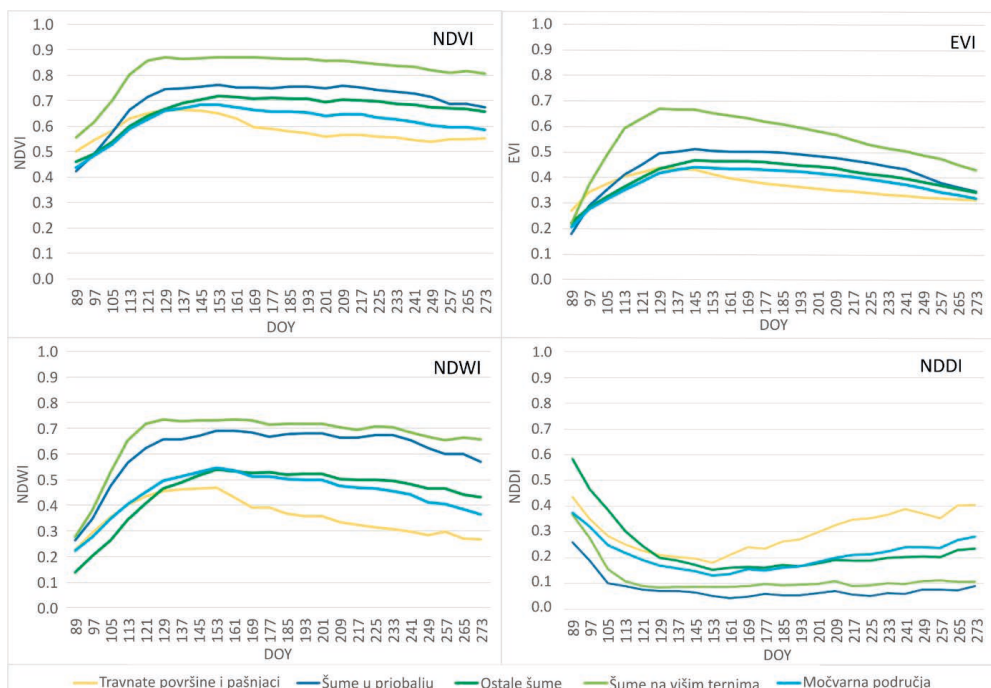
Rezultati

Prostorna i vremenska analiza primenljivosti podataka o vegetacionim indeksima dugog vremenskog niza u monitoringu suše

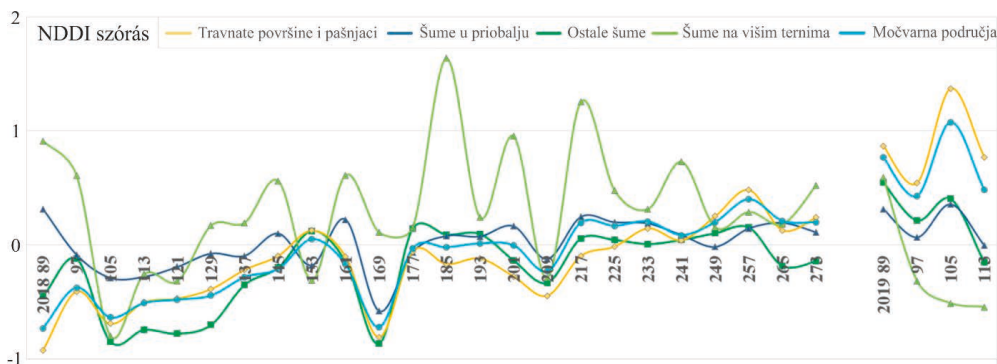
Dugogodišnje prosečne vrednosti indeksa suše između 2000. i 2017. potvrđuju ispravnost razgraničavanja šuma, poljana, livada, pašnjaka i vodenih staništa, odnosno opravdanost uzimanja u obzir sva četiri indeksa (slika 4.2.). Između NDVI i EVI uzetih po sličnom principu isto su velike razlike. U skladu sa očekivanjima kod šuma na višim terenima (Fruška Gora) je najobimnija, a u velikom delu godine kod zeljastog bilja je najniža produkcija bio mase. EVI bolje prati godišnje promene produkcije bio mase, dok kod NDVI nakon stvaranja letnje krošnje, veoma velike vrednosti mediana u preostalom delu vegetacionog perioda jedva se smanjuju. Najintenzivnije promene se odvijaju u prolećnom rastu vegetacije, kada su EVI/NDVI medijane do sredine maja rasle i za 0,1 u periodu od 16 dana.

Vrste površinskog pokrivača najbolje možemo razgraničavati na osnovu NDWI. Tok krive pokazuje osetljivu sliku na spoljne uticaje. Visoki NDDI pretpostavlja sušu, što je važno kod tumačenja nižih vrednosti; shodno tome plavne šume koje nisu pogođene sušom imaju najniže prosečne vrednosti NDDI.

Standardnom NDDI anomalijom jednoznačno se mogu razgraničiti ekstremna, sušom izazvana stanja vegetacije, pa tako prostornom analizom 2018-2019. omogućile su evaluaciju geografskih posledica sve češćih i sve izraženijih sušnih pojava (slika 4.3.).



Slika 4.2. Kretanje prosečnih vrednosti spektralnih indeksa između 2000. i 2017. u letnjem polugodištu za osmodnevne kompozitne slike (na X osi se nalaze dati dan u godini – DOY)



Slika 4.3. Prosečne anomalije standardizovane vrednosti NDDI računate za periode 03.30.-10.07.2018. i 30.03.-30.04.2019

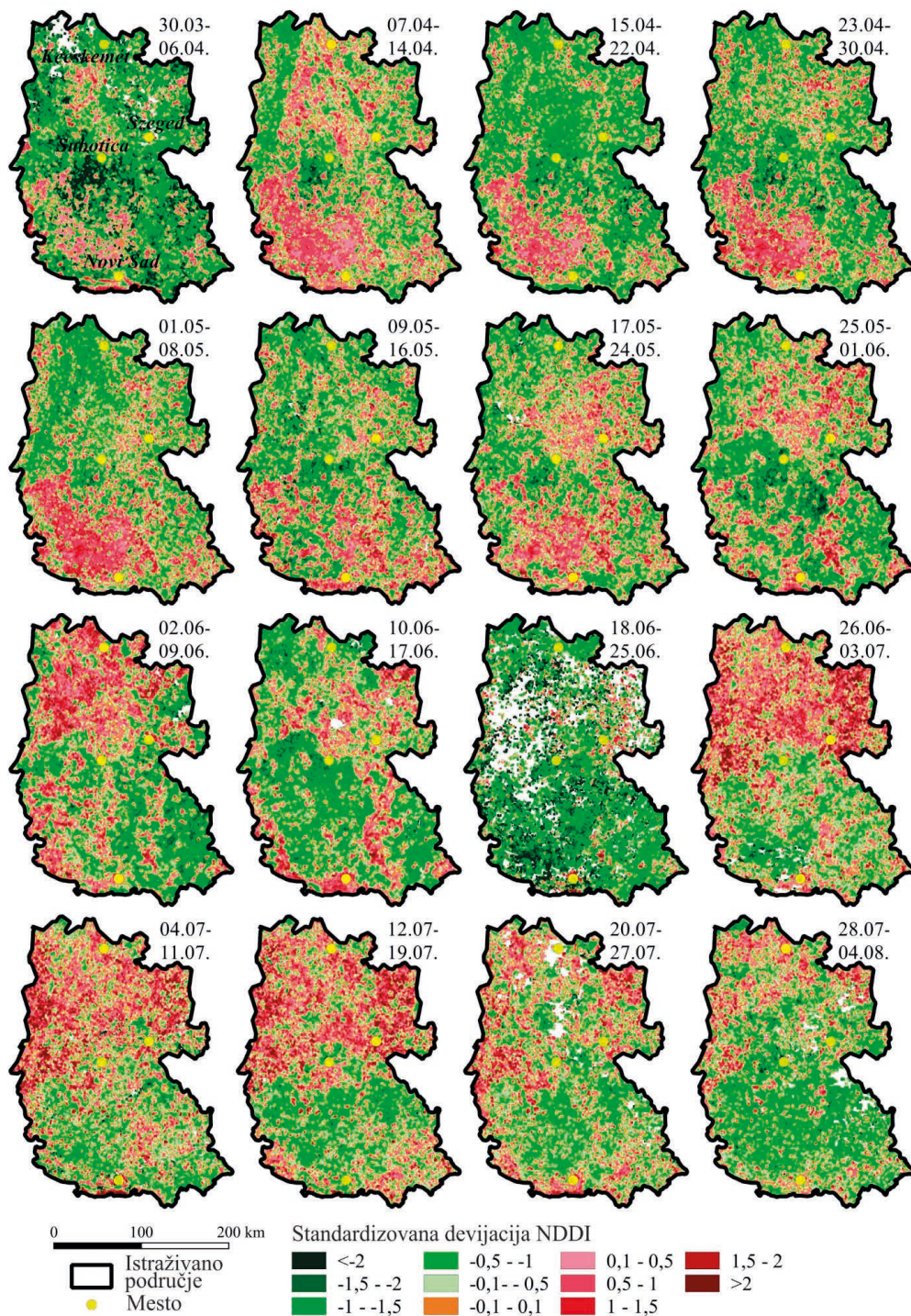
Kod NDDI devijacije opseg iznad vrednosti 1 označava sušu. Ako se prosek približi ovoj vrednosti ili je pređe, na posmatranoj lokaciji se najčešće mogu primetiti uslovi suše. 2018. samo su kod šuma na višim terenima devijacije bile blizu ili iznad 1, ali zahvaljujući padavinama i temperaturi to stanje nije bilo neprekidno, pa ne možemo govoriti o značajnoj suši. U proleće 2019. devijacija je neprekidno iznad 0,5 kod poljana/livada/pašnjaka i na vodenim staništima, što nije dobar znak pred leto.

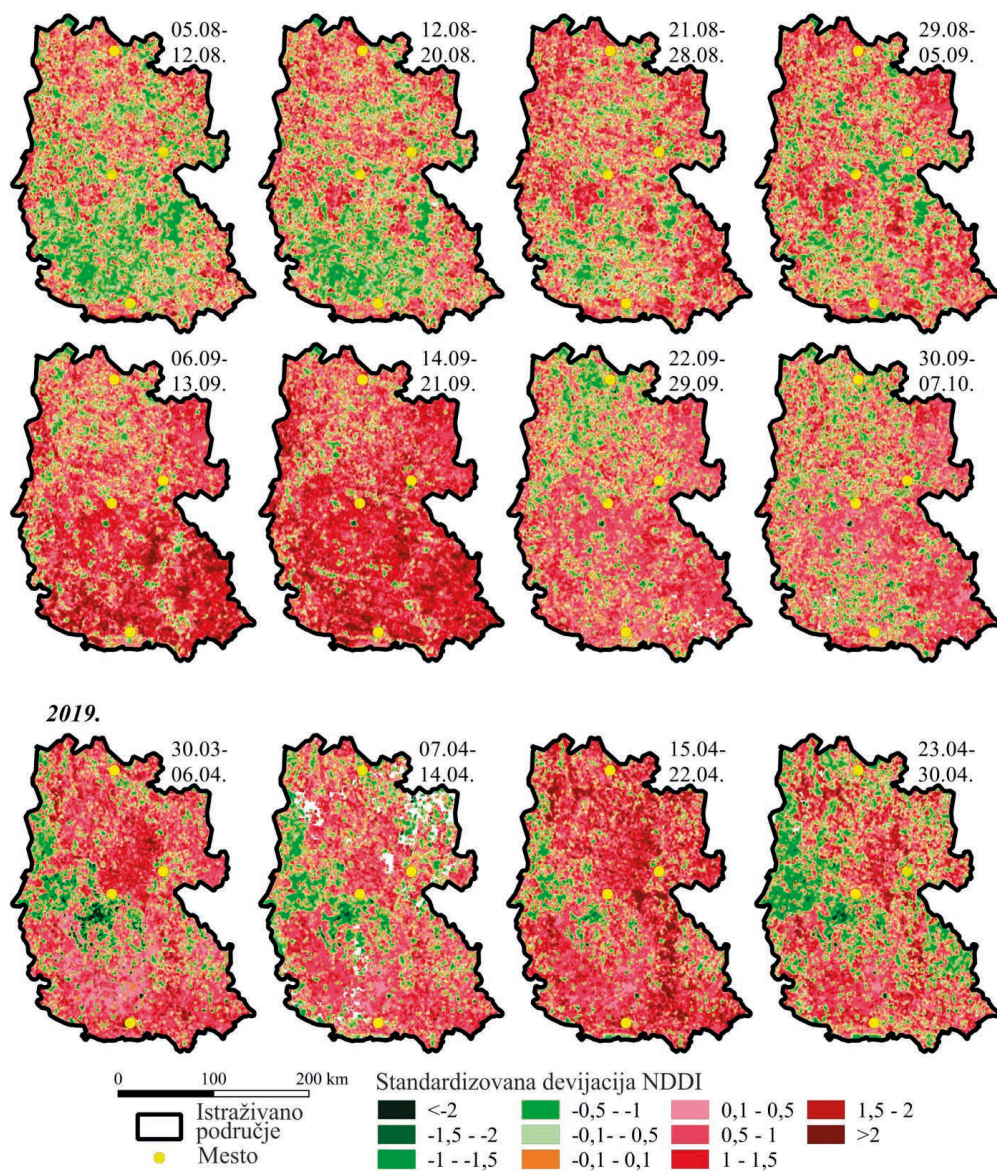
Iznenadne, velike promene (NDDI devijacija >2) se mogu javiti kod prostorne raspodele, što prvenstveno pretpostavlja antropogene uticaje (slika 4.4.).

Kod krivulja prosečne devijacije u toku godine za pojedine tipove zemljišnog pokrivača uočljive su razlike vrednosti indeksa kod šuma na višim terenima, što u više od polovine posmatranog perioda ili karakteristično pokazuje veće vrednosti od ostalih pokrivača, ili su njima dijametralno suprotne. Šume na višim terenima se nalaze isključivo južno od Novog Sada, na području Fruške Gore, dakle više od svih površina ravnice, uz to na najjužnijoj granici posmatranog područja, što možda odražava sve izraženije klimatske promene ka jugu. U pogledu NDDI devijacija posmatranih površina, razlike su karakteristične za prolećne periode, odnosno uticaji na fotosintezu i na sadržaj vlage u tim periodima se razlikuju najviše. Oblik krivulja vodenih staništa i poljana/livada/pašnjaka se retko razlikuje.

Na klimatski relativno homogenom području, koje je tema naših analiza kroz geografske uticaje mogu se izraziti lokalne/regionalne razlike. U više perioda se veoma dobro može razlikovati ravničarski deo između Dunava i Tise, ili niži predeli Bačke. Na delu područja u Mađarskoj od 26.06.2018. – izuzev jednog-dva perioda – stalno preovlađuju područja sa pozitivnim NDDI razlikama. Na čitavom posmatranom području je karakteristična suša između 6. i 21. septembra, a to se odnosi i na podatke iz aprila 2019. Analize na bazi piksela bolje odražavaju lokalni karakter od analiza putem prosečnih vrednosti. Tako i u periodima sa povoljnim prosečnim vrednostima nalazimo nepovoljne, sušne površine. U ravničarskim šumama, koje se nalaze skoro isključivo na prostoru između Dunava i Tise od juna 2018. do kraja aprila 2019. mogu se odrediti pikseli koje pokazuju skoro neprekidno pozitivne NDDI razlike.

2018



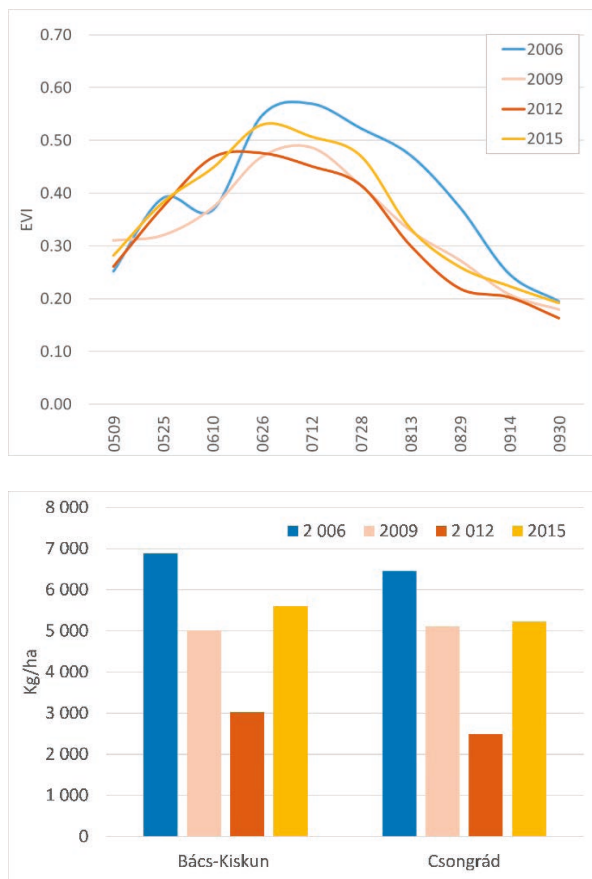


Slika 4.4. Prostorna analiza standardizovane NDDI 2018. i 2019.

Prostorne i vremenske promene stanja poljoprivrednih zemljišta

U analiziranom periodu, 2006. godina – sa mnogo padavina – pokazuje najveće EVI vrednosti. Istini za volju, u prosečnim vrednostima s početka juna mesečne padavine u maju i junu, od preko 100 mm (i nastale unutrašnje vode), dovele su do opadanja. Kriva EVI-ja za 2009. i 2012. veoma dobro pokazuju uticaj suše: za period maj-juni

2009. godine u odnosu na ostale godine kasnije je počeo rast EVI i tek u julu je dostigla nisku vršnu vrednost, dok je 2012. godine posle početnog naglog rasta, sledio period sa najnižim vrednostima. Ove krive anomalije EVI mogu se dobro uporediti sa prosečnim prinosima na posmatranom području (slika 4.5.). U obe županije, 2006. su bili najviši prosečni prinosi, a 2012. bili su najniži.

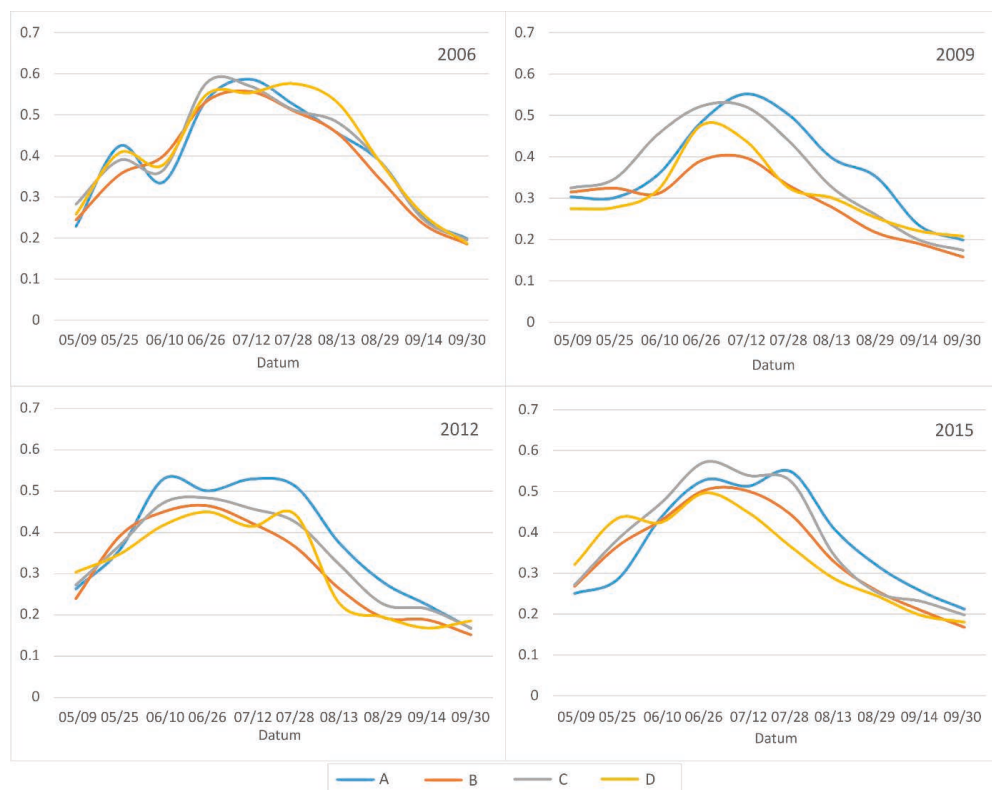


Slika 4.5. Prosečne vrednosti EVI analiziranih parcela kukuruza na osnovu 16-to dnevnih MODIS MVC snimaka u analiziranim godinama (a), Prosečni prinosi kukuruza u posmatranim godinama u županiji Čongrad i Bač-Kiškun (b)

Krive biomase 2006. su veoma ujednačene zahvaljujući povoljnim padavina (slika 4.6.). Ovde se vidi na najbolji način sazrevanje kukuruza u junu-avgustu; najviše vrednosti srećemo na području između Dunava i Tise. Nasuprot tome vrednosti EVI najveće razlike pokazuju 2009.; najniže prosečne vrednosti nalazima na prostoru istočno od Tise, dok krive koje se odnose na područje Bačke su ujednačene. Usled uticaja suše vrednosti sa područja istočno Tise i između Dunava i Tise u upoređenju sa 2006. pokazuju smanjenje za 50%. Pri analizi prostornih razlika u sušnim godinama na EVI krivi iz 2015. maksimum se može videti tek krajem juna/početkom

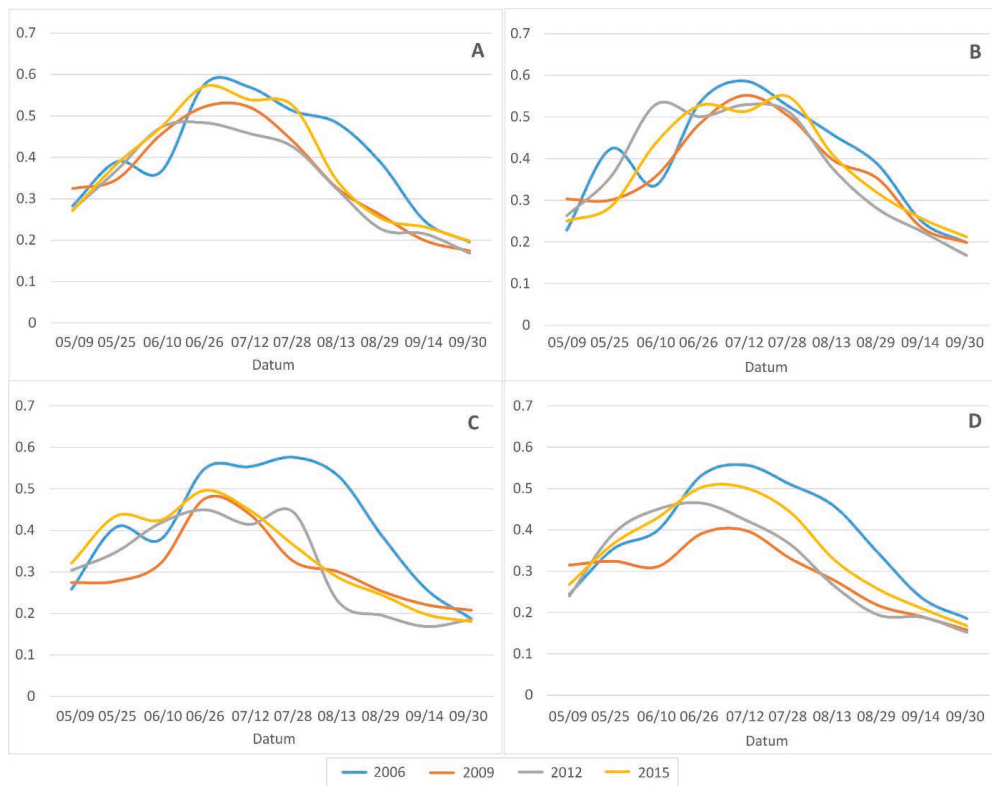
jula, dok od početka juna 2012. na svim posmatranim područjima smanjuje se vrednost EVI. Na krivama iz zadnje dve godine vidljivi sekundarni (kasniji) maksimumi se mogu vezati potpunom sazrevanju kukuruza, čemu u osnovi pogoduje suvo, toplo vreme, ali u tim godinama treba računati sa nedostatkom padavina u proleće/rano leto. 2012. i 2015. suša je bila podjednako intenzivna. No 2012-toj godini prethodila je 2011., veoma topla i suva godina, dok godinu dana pre 2015., dakle 2014. nije bilo suše. To je moglo prouzrokovati razlike i više vrednosti u Bačkoj i na području istočno Tise. U godinama sa najlošijim prosečnim prinosima (2009, 2012) najmanju, odnosno drugu najmanju produkciju biomase primetili smo na parcelama na području između Dunava i Tise, tako da u budućnosti treba obratiti pažnju na proizvodnju kukuruza u tom regionu.

Nagle promene prosečnih vrednosti EVI upućuju na vegetaciju koja brzo reaguje na promene uslova životne sredine i na antropogene uticaje. Na primer, pojava unutrašnjih suvišnih voda 2006. godine, pad vrednosti EVI 2012. godine na području između Dunava i Tise i 2015. godine u Bačkoj usled žetve useva, ili naglo povećanje vrednosti zbog povoljnih meteoroloških uslova krajem 2012. godine na području između Dunava i Tise 2015. u Podunavlju.



Slika 4.6. Krive biomase 16-to dnevnih kompozitnih EVI indeksa za analizirane godine za tačke koje se odnose na parcele pod kukuruzom iz baze podataka LUCAS u županijama Čongrad i Bač-Kiškun

Razlike kriva EVI su najmanje u Bačkoj i u Podunavlju. (slika 4.7.). Male razlike se mogu povezati sa karakteristikama zemljišta (veliko zadržavanje vode) i povoljnim uslovima vodosnabdevanja. Nije čudo što je najznačajniji pad u Podunavlju usled padavina početkom juna 2006. zbog blizine podzemnih voda i zemljišta sa svojstvima zadržavanja vode. Anomalije u vidu negativne produkcije biomase mogu prouzrokovati ne samo suša već i prisustvo prekomernih količina vode. Područje između Dunava i Tise je veoma izloženo suši, kao rezultat postojanja značajnih površina peskovitih zemljišta sa lošim režimom voda i uz niske nivoe podzemnih voda, međutim 2006. godine zabeležene visoke vrednosti EVI. Pored područja između Dunava i Tise, EVI krive za područje istočno od Tise pokazuju najznačajnija godišnja odstupanja.

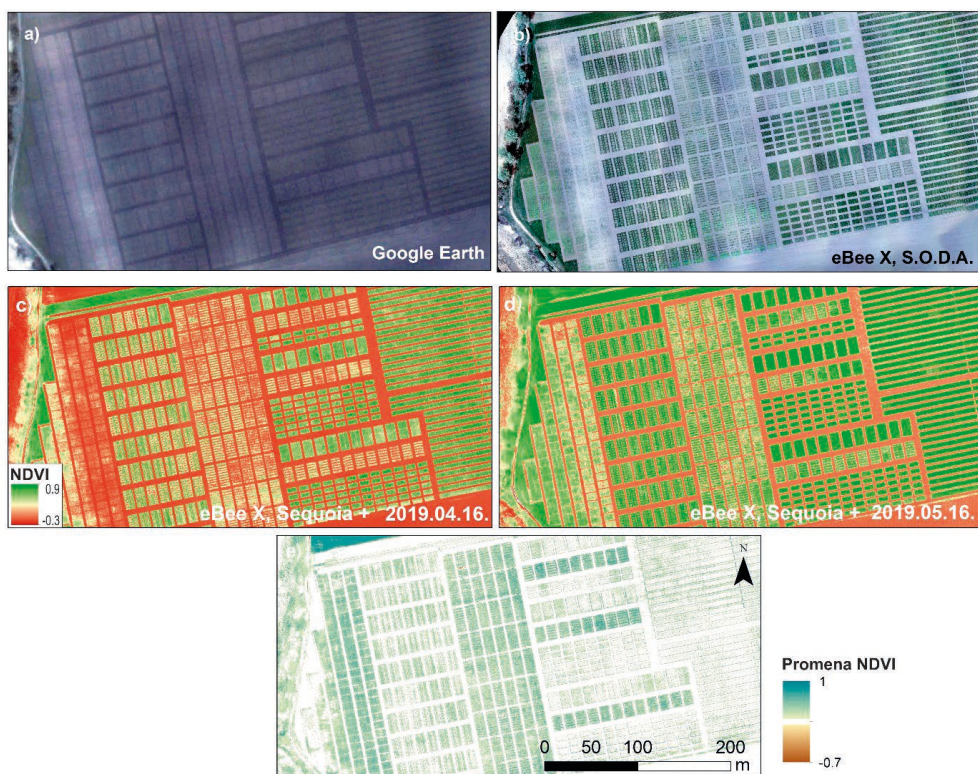


Slika 4.7. Krive biomase na osnovu 16-to dnevnih kompozitnih EVI indeksa prema vrstama zemljišta za parcele pod kukuruzom iz baze podataka LUCAS

Analiza mogućnosti monitoringa vegetacije pomoću dronova velike rezolucije

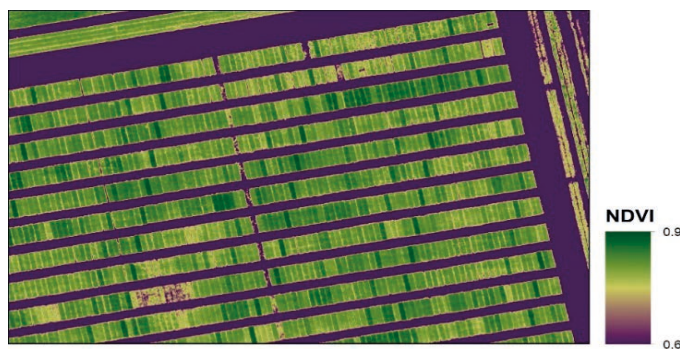
Na ortofoto snimcima snimljenim 16. aprila 2019. dobro se vide prostorne razlike na parcelama pod ozimom pšenicom (slika 4.8b, c). Homogenost zelenih pojaseva na rubnim područjima može se zahvaliti tome što je zasejana ista sorta na velikoj

površini u odnosu na druge parcele, što povećava sposobnost poljoprivredne kulture za potiskivanje korova. Jedan od razloga prostornih anomalija NDVI je razlika vrste zemljišta koja se dobro vidi na satelitskom snimku iz marta (slika 4.8a.), a drugi razlog je heterogeni razmeštaj vrste korova. Korovi i poljoprivredni usevi se lako mogu razlikovati na RGB snimcima. Na RGB snimku uzdužne zone sa svetlijim bojama koje označavaju fizička svojstva zemljišta u osnovi manje su izražene za vreme suše. Prema slici (4.8c, d, e) padavine u maju su dovele do znatnog razvoja vegetacije i još više se razdvajaju produkti različitih sorti.



Slika 4.8. Snimci parcela sa ozimom pšenicom u okolini Segedina a) satelitski snimak GeoEye (GoogleEarth) 14. 03. 2019.; b) RGB snimak dronom eBee X 16. 04. 2019., senseFly S.O.D.A.; c) NDVI snimak drona eBee X 16. 04. 2019., Parrot Sequoia+; d) snimak NDVI drona eBee: 16. 05. 2019. e) NDVI promene između 16. 04. i 16. 05.

Ekstremi u vodosnabdevanju i vremenski uslovi takođe ograničavaju istraživanje - snimanje. Na početku godine velika brzina vetrova često je ograničavala snimanje, a zbog niske vlažnosti zemljišta mnogo kasnije je krenulo klijanje. U majskom periodu sa mnogo padavina i oblačnosti je predstavljala problem monitoringa. Istraživanje je rađeno na eksperimentalnim parcelama, gde su se negativni uticaji zona sa različitim tipovima zemljišta na različite vrste useva smanjivali ponavljajućim randomiziranim ili fiksnim metodama setve useva, tako da se parcele sa određenim tipom useva ponavljaju u različitim delovima eksperimentalnog polja (slika 4.9).



Slika 4.9. Ponavljanje sorti u severoistočnom bloku ogleda

Zaključak

U našoj analizi monitoringa u maloj i velikoj prostornoj i vremenskoj rezoluciji dobili smo rezultate za razne vidove korišćenja zemljišta. Podaci su pažljivo prethodno obrađeni, i napravljene su analize u regionalnoj razmeri primenjujući piksele sa homogenim pokrivačem zemljišta. Razlike u primenjenim spektralnim indeksima opravdavaju upotrebu sve četiri vrste indeksa.

Temeljne razlike karakterišu proizvodnju biomase parcela sa različitim vegetacijama, što ukazuje na složene procese čak i unutar ovog jedinog faktora koji formira pejzaž. Prema klimatološkim prognozama, u bliskoj budućnosti proces zagrevanja će se nastaviti, a ekstremno suvi, sušni periodi postaće sve češći. Shodno tome, vrlo je verovatno da će sadašnje smanjenje proizvodnje biomase produžiti. Promenljivost indeksa ukazuje na brze reakcije vegetacije na različite uticaje okoline. Posledice ekstremno sušnih godina ili perioda mogu se proceniti pažljivom analizom odstupanja u vegetaciji primenom statistike i prostorne analize. Na taj način poljoprivrednici bi mogli dobiti podršku u preduzimanju preventivnih mera. Naši rezultati su takođe pokazali da postoje ograničenja za uzgoj kukuruza na području između Dunava i Tise.

Zbog složenosti procesa, u istraživanju aridifikacije je preporučljivo formulisati zaključke bazirane na praktičnim istraživanjima. Dalji cilj studija monitoringa je iskoristiti statističke mogućnosti u rastućem nizu podataka. Da bismo bolje razumeli funkcije vegetacije, trebalo bi da otkrijemo njen odnos sa vremenskim prilikama i karakteristikama zemljišta, čak i na nivou parcela.

Metodologije primenjene u studiji, bazirane na tehnologijama daljinske detekcije, mogu da daju dobre rezultate u stvaranju operativnih i automatizovanih rešenja za detekciju promena u blisko realnom vremenu.

5. Procena rizika od poljoprivredne suše u Vojvodini

Odabir odgovarajućeg indeksa SPEI za potrebe praćenja poljoprivredne suše u Vojvodini

Atila Bezdan; Milica Vranešević; Boško Blagojević; Borivoj Pejić; Jovana Bezdan; Dragan Milić; Nedeljko Tica; Vladislav Zekić

Uvod

Na teritoriji Vojvodine, pojava suše može imati značajne posledice za poljoprivrednu proizvodnju. U manjem ili većem intenzitetu suša je izražena skoro svake godine i predstavlja ograničavajući faktor visokih prinosa (Bezdan, 2014). Kako je u agro-klimatskim uslovima Vojvodine poljoprivredna proizvodnja ograničena količinom i raspodelom padavina, pojava suše može prouzrokovati veoma nepovoljne uticaje na uspešnost ove delatnosti (Rajić i Bezdan, 2011).

Prethodnih nekoliko godina, poljoprivredna proizvodnja u Vojvodini pretrpela je značajne štete od pojave suše. Procenjena šteta na poljoprivrednim usevima 2012. godine na teritoriji svih 45 vojvođanskih opština i gradova iznosila je oko milijardu evra, kada je prinos pojedinih kultura bio umanjen i za preko 50%.

U svetskim okvirima suša je prirodna nepogoda koja direktno pogađa najveći broj ljudi. U suštini, suša je normalna prirodna pojava koja se periodično javlja u gotovo svim klimatskim regionima (Kogan 1997; Wilhelmi i Wilhite, 2002; Wilhite, 2005). Javlja se u područjima i sa velikim i sa malim visinama padavina. Suša je privremeno odstupanje od normale za razliku od aridnosti koje je stalna ili dugoročna karakteristika klime i vezana je za oblasti sa malim količinama padavina. Složena međuzavisnost između klimatskih, hidroloških, geoloških, geomorfoloških, ekoloških i socio-ekonomskih faktora čine da se fenomen suše veoma teško može u potpunosti opisati samo jednom univerzalnom definicijom (Pereira i Paulo, 2003).

U praksi, suša je prirodna pojava koja se mora posmatrati prostorno (regionalno), sa više aspekata i razmatrati u više naučnih disciplina. Može definisati sa meteorološkog, hidrološkog, agronomskog i socio-ekonomskog aspekta (Wilhite i Glantz, 1985; Prohaska, 2006). Pod pojmom meteorološka suša podrazumevaju dugotrajni vremenski periodi kada su padavine znatno manje od višegodišnjeg proseka, odnosno kada su te padavine na donjoj granici obezbeđenosti. Pod hidrološkom sušom se podrazumevaju periodi vremena sa izrazito malim proticajima reka i niskim vodo-stajima u akumulacijama i jezerima koji dugo traju. U poljoprivredi se pod sušama podrazumevaju periodi u toku kojih je vlažnost zemljišta znatno ispod prosečne i nedovoljna za razvoj poljoprivrednih kultura. Socio-ekonomska suša povezuje potražnju i snabdevanje određenog ekonomskog dobra (vrednost) s elementima meteorološke, agronomske i hidrološke suše.

Pojava suše ima drugačije značenje i prouzrokuje različite efekte posmatrano iz ugla poljoprivrede, vodoprivrede, hidroenergetike, ekologije i dr. Na primer smanjenje prinosa poljoprivrednih kultura usled suše nije podjednako za sve kulture jer ono zavisi od potreba biljaka za vodom, stepena njihove otpornosti na sušu, od nivoa primenjene agrotehnike i vodnog režima zemljišta. Suša se razlikuje od drugih prirodnih katastrofa u tome što je njen početak spor i teško ga je detektovati a njeni efekti se akumuliraju polako tokom znatnog perioda vremena.

Kompleksna pojava suše može pojednostavljeno da se prikaže pomoću indeksa suše. Da bi se mogle upoređivati suše koje su se dogodile u različitim krajevima sveta i u različitim istorijskim periodima potrebno je pronaći numeričku meru za sušu (indeks). S obzirom na različitost u definisanju suše, vrlo je teško naći univerzalni indeks. Takođe, zbog složenosti suše, ni jedan indeks ne može opisati sušu u potpunosti (Prohaska, 2006).

Danas se u svetu koriste bojni indeksi suše, a jedan od najčešće primenjivanih je SPEI - standardizovani indeks padavina i evapotranspiracije (Vicente-Serrano i sar., 2010; Beguería i sar., 2014). SPEI se bazira na akumuliranoj razlici između padavina i potencijalne evapotranspiracije. Za potrebe ove studije ovaj indeks je odabran iz razloga jer se poljoprivredna suša može najbolje pratiti pomoću indeksa suše koji se bazira istovremeno na padavinama i evapotranspiraciji - dve osnovne komponente vodnog bilansa (Moorhead i sar., 2015).

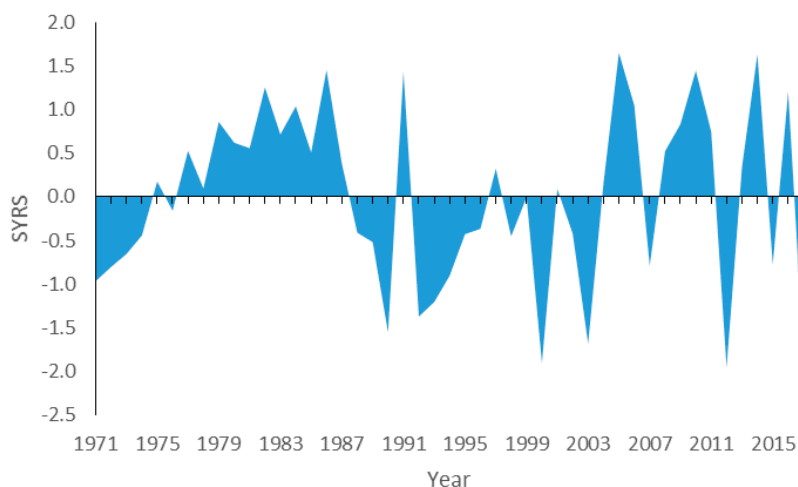
U prvom koraku ove studije, izvršeno je ispitivanje jačine veze između prosečnih prinosa kukuruza na teritoriji Vojvodine, kao jedne od najzastupljenijih i najznačajnijih poljoprivrednih kultura u regionu, i vrednosti SPEI proračunate za pojedine mesece i za različite vremenske intervale u cilju odabira odgovarajućeg indeksa SPEI za potrebe praćenja poljoprivredne suše u Vojvodini. U nastavku je na osnovu analitičke kalkulacije troškova u proizvodnji kukuruza procenjen prinos kukuruza koji omogućava profitabilnu proizvodnju a zatim na osnovu prethodno određenih jednačina regresije utvrđene su vrednosti indeksa SPEI pri kojoj mogu nastati štete. Ove vrednosti SPEI predstavljaju granične vrednosti na koje bi trebalo obratiti pažnju prilikom analiza pojava poljoprivredne suše u Vojvodini.

Analiza je vršena za devet opština (Bečej, Kikinda, Subotica, Novi Sad, Sremska Mitrovica, Sombor, Vršac, Zrenjanin i Beograd), u periodu od 1971. do 2017. godine. Razmatrane su opštine u kojima se nalaze glavne meteorološke stanice Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije. Podaci o prosečnim prinosima kukuruza preuzeti su iz statističkih godišnjaka Republike Srbije (RZS, 2019). Za postupak obračuna visine i strukture troškova u proizvodnji kukuruza korišćena je metoda analitičke obračunske kalkulacije (Marko i sar., 1998). Metodom regresije procenjena je vrednost indeksa SPEI pri kojoj mogu nastati štete. Kalkulacije troškova u proizvodnji kukuruza su izvršene korišćenjem podataka iz izveštaja Privredne komore Vojvodine.

Kukuruz je visokoprinosni i najvažniji ratarski usev, gaji se na velikim površinama za zrno, zelenu stočnu hranu kao glavni, drugi i postrni usev. Najzastupljenija je ratarska biljna vrsta u Srbiji, gde se gaji na 35-40% obradivih površina i to uglavnom u ravničarskim predelima Vojvodine (Spasojević i sar., 1994). Kukuruz je biljka sa velikim potencijalom za prinos (preko 20 t/ha). U širokoj proizvodnji, u srednje

povoljnim godinama mogu se postići prinosi 7-8 t/ha bez navodnjavanja, a u uslovima navodnjavanja oko 10 t/ha.

Razvoj i napredak poljoprivredne proizvodnje, kao što je veći i češći unos sredstava za prihranu biljaka, korišćenje novih sorti, pojačano suzbijanje korova i poboljšana obrada zemljišta najčešće dovodi do pojave uzlaznih trendova poljoprivredne proizvodnje, odnosno do pojave trenda porasta prinosa poljoprivrednih kultura (Potopová i sar., 2015). Da bi se analizirao samo uticaj klimatskih uslova na prinos kultura neophodno je ukloniti trendove u vremenskim serijama prinosa (Potopová i sar., 2016; Lobell i Asner, 2003). U ovoj studiji su trendovi u vremenskim serijama prinosa kukuruza uklonjeni korišćenjem kvadratne regresije. Dobijeni reziduali "de-trendovanih" serija prinosa kukuruza su dalje korišćeni za dobijanje standardizovane serije reziduala prinosa (SYRS) (Slika 5.1).



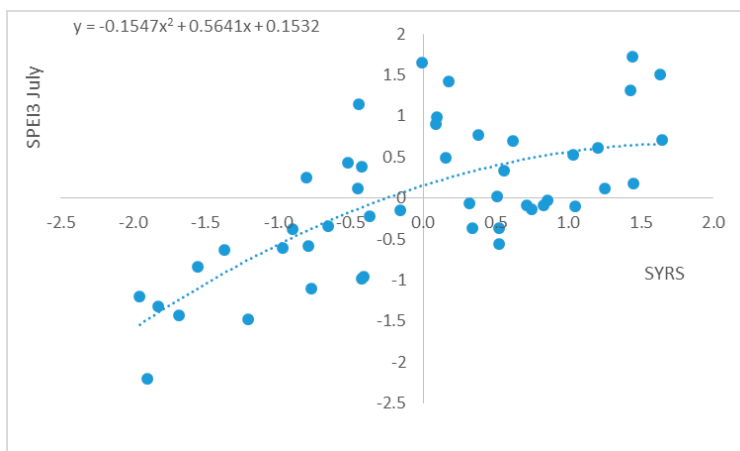
Slika 5.1. SYRS vrednosti za kukuruz u Vojvodini, 1971-2017

U nastavku su prikazani rezultati proračun koeficijenata korelacije u cilju ispitivanja jačina veze između prosečnih prinosa kukuruza i prosečnih vrednosti indeksa SPEI za teritoriju Vojvodine (Tabela 5.1).

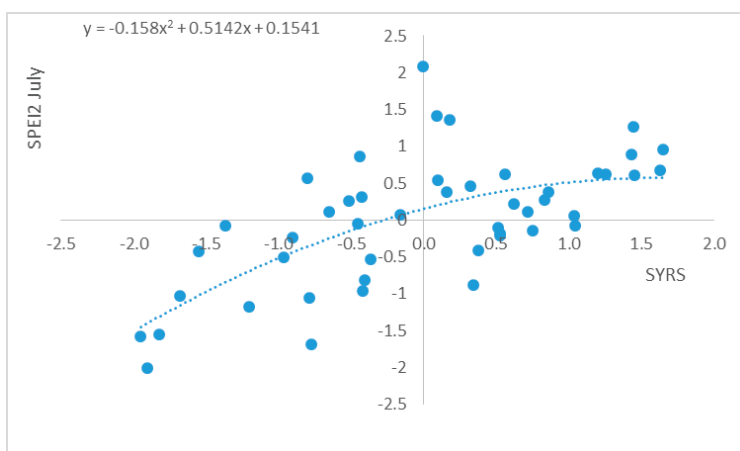
Tabela 5.1. Pearson-ovi koeficijenti korelacije između SYRS kukuruza i indeksa SPEI

SPEI1 _{maj}	SPEI1 _{jun}	SPEI1 _{jul}	SPEI1 _{av}	SPEI1 _{maj}	SPEI2 _{jun}	SPEI2 _{jul}	SPEI2 _{av}	SPEI3 _{maj}	SPEI3 _{jun}	SPEI3 _{jul}	SPEI3 _{av}
0.398	0.452	0.517	0.545	0.430	0.547	0.636	0.617	0.543	0.541	0.678	0.659

Sve vrednosti Pearson-ovog koeficijenta korelacije ukazuju da postoji statistički značajna veza između prinosa kukuruza u Vojvodini i indeksa SPEI, na osnovu praga značajnosti od $\alpha = 5\%$. Statistički najznačajnija veza sa prinosima je sa indeksima SPEI3 u julu mesecu i SPEI2 takođe u julu mesecu. Iz tog razloga su ovi indeksi pogodni za praćenje poljoprivredne suše u Vojvodini. Na slikama 5.2 i 5.3 prikazani su dijagrami rasturanja i linije kvadratne regresije indeksa SPEI3jul i SPEI2jul i prosečnih prinosa kukuruza



Slika 5.2. Dijagram rasturanja i linija kvadratne regresije, SPEI3 Jul



Slika 5.3. Dijagram rasturanja i linija kvadratne regresije, SPEI2 Jul

Na osnovu izveštaja Privredne komore Vojvodine (PKV, 2016) o uslovima ostvarivanja ratarske proizvodnje, sačinjena je tabela 5.2 gde su prikazani prosečni prinosi kukuruza u Vojvodini, prosečne prodajne cene, vrednost proizvodnje, visina direktnih troškova i visina bruto marže. Podaci su prosečni za celu teritoriju Vojvodine i odnose se za 2007., 2008., 2009., 2010., 2011., i 2014. godinu. Za ostale godine podaci nisu bili dostupni. Direktni troškovi proizvodnje su uključivali troškove semena, troškove đubriva (NPK, UREA, KAN), troškove pesticida i troškove dizel goriva. Procenjeni prosečni profitabilan prinos kukuruza u posmatranim godinama iznosi 3880 kg/ha.

Table 5.2. *Calculation of costs in the production of Maize, Gross margin and Profitable Yield*

	2007	2008	2009	2010	2011	2014
Prosečan prinos (kg/ha)	4050	5235	5900	6710	5990	10000
Cena (RSD/kg)	14	10	9,4	18,3	15,7	13
Vrednost proizvodnje (RSD /ha)	56700	52350	55460	122811	93908	130000
Direktni troškovi (RSD /ha)	31399	42440	52593	43789	52702	70800
Bruto marža (RSD /ha)	25301	9910	2867	79022	41206	59200
Profitabilan prinos (kg)	2243	4244	5595	2393	3357	5446

Na osnovu prethodnih proračuna određeno je da je kritična vrednost indeksa SPEI3 u Julu mesecu – 0,52, a da je kritična vrednost za indeks SPEI3 u junu -0,6. Ispod tih vrednosti indeksa mogu nastati gubici u proizvodnji kukuruza u Vojvodini.

Procena rizika od suše

Koncept rizika, hazarda i ranjivosti proučavali su brojni autori, Blaikie i sar. (1994), Knutson i sar. 1998, Wilhite (2005), Greiving i sar. (2006), Kumpulainen (2006), Petro-nijević i sar. (2010), Bezdan (2014) i drugi. Jedna od najjednostavnijih definicija pojma rizika ističe da je rizik proizvod stepena štete uzrokovane određenim događajem i verovatnoće njegovog pojavljivanja. Verovatnoća događaja zavisi od jačine prirodno hazarda. Što je jačina prirodnog hazarda veća, to je verovatnoća njegovog pojavljivanja manja. Stepen rizika je mera opasnosti koja se pojavljuje u nekoj situaciji. Prema Thywissen (2006) rizik od nastanka hazardnih događaja je kombinacija verovatnoće pojave i posledica ostvarenja hazardnog događaja i u opštem slučaju se može izraziti kao prostorna funkcija niza kompleksnih parametara ako što su hazard, ranjivost, izloženost, otpornost. Dakle, rizik zavisi od verovatnoće ostvarenja kao i intenziteta posledica ostvarenja određenog događaja. Mogućnost nastanka rizika može biti učestalo, često, retko ili nikakvo a posledice ispoljavanja rizika mogu biti katastrofalne, kritične, male ili minorne.

Postoji više metoda procene rizika, a jedna od najčešće korišćenih se bazira na formuli koju su predložili Blaikie i sar. (1994) gde je rizik jednak proizvodu hazarda i ranjivosti:

$$\text{Rizik} = \text{Hazard} \times \text{Ranjivost}$$

Hazard se definiše kao potencijalno štetan fizički događaj, pojava ili ljudska aktivnost koji može da prouzrokuje gubitak života, povredu, oštećenje imovine, socijalne ili ekonomske promene ili degradaciju životne sredine (UN/ISDR, 2004).

Hazard može biti različitog porekla: prirodnog porekla ili prouzrokovan ljudskim aktivnostima nastalih najčešće usled ljudskog nemara. Prirodni hazardi nastaju usled prirodnih fenomena i mogu se podeliti na (UN/ISDR, 2004):

- geološke hazarde (zemljotresi, klizišta, cunami itd.);
- hidrometeorološke hazarde (poplave, suše, oluje, cikloni, uragani itd.) i
- biološke hazarde (zagađenje životne sredine, epidemije, napadi štetočina itd.).

Ranjivost je izuzetno važan parametar koji se koristi u proceni rizika. Postoje različita tumačenja i definicije pojma ranjivosti u zavisnosti u kom kontekstu se koristi. Ranjivost ukazuje na potencijalnu štetu i promenljiva je koja je usmerena ka napred, i u tom smislu ranjivost omogućava prognozu šta se može desiti određenoj populaciji u uslovima određenog rizika i hazarda (Cannon i sar., 2005). U opštem smislu, ranjivost se može definisati kao stepen do koga će sistem verovatno biti oštećen zbog svoje izloženosti hazardu, pritiscima ili stresorima različitog porekla (Turner, 2003). Ranjivost ima više dimenzija (fizičku, društvenu, ekonomsku, faktora sredine, institucionalnu i ljudsku) i mnoge od njih se ne mogu lako kvantitativno odrediti.

Procena ranjivosti, hazarda i rizika izvršene su korišćenjem GIS okruženju. Korišćene su tehnike klasifikacije, reklasifikacije i preklapanja slojeva a težinski koeficijenti slojeva određeni su analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP). Da bi se u GIS-u moglo izvršiti preklapanje slojeva, koji mogu sadržati različite tipove podataka, slojeve bilo je potrebno standardizovati, odnosno klasifikovati po određenom kriterijumu. Klasifikacijom slojeva po određenom kriterijumu se svim slojevima dodeljuje isti tip podataka i u istom opsegu. U ovom slučaju su ulaznim slojevima klasifikacijom dodeljene celobrojne vrednosti u opsegu od 1 do 5, gde 1 označava najmanju ranjivost, hazard ili rizik a 5 označava najveću.

Procena ranjivosti na sušu

Faktori koji utiču na ranjivost područja na sušu, odnosno indikatori koji će predstavljati komponente ranjivosti na sušu su određeni na osnovu prirodnih uslova i antropogenih uticaja na području Vojvodine. Faktori su odabrani na osnovu njihovog uticaja na samu pojavu suše ili na ublažavanje efekata suše, na osnovu dostupnosti podataka i na osnovu istraživanja brojnih autora u oblasti procene ranjivosti na sušu. Odabrani su sledeći faktori ranjivosti na poljoprivrednu sušu: proizvodne osobine zemljišta, potrebe useva za navodnjavanjem i način korišćenja zemljišnog pokrivača.

Proizvodne osobine zemljišta

Produktivnost, odnosno plodnost zemljišta je sposobnost zemljišta da daje određenu visinu prinosa (Živkoviću i sar., 1972). Praktično, ocena produktivnosti zemljišta, pod uslovom da je zemljište snabdeveno hranljivim sastojcima, nije zaslanjeno,

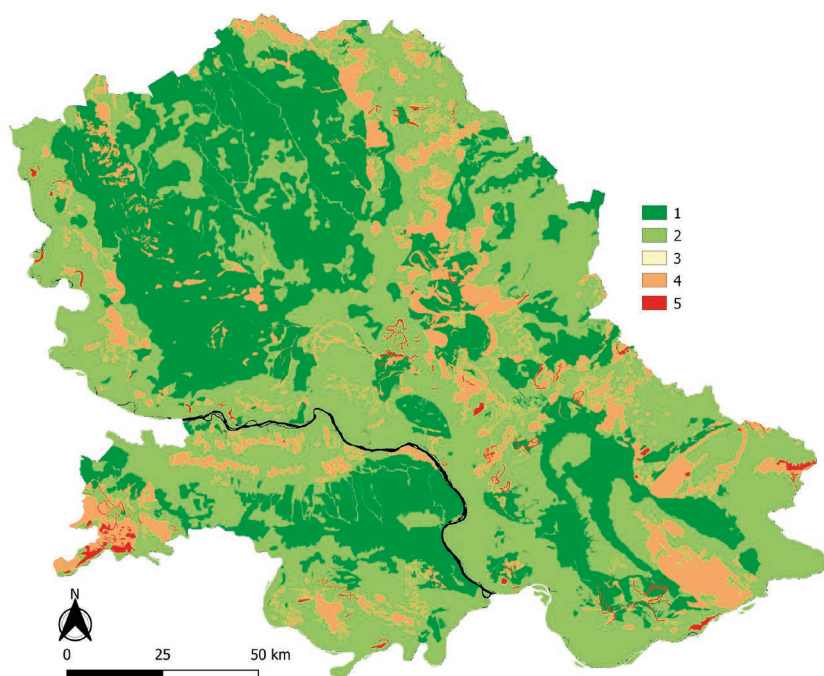
alkalizovano ili zabareno, se može izvršiti na osnovu: tipa, podtipa (mehanički sastav) i dubine zemljišta do stene. Na osnovu ovih kriterijuma je izvršena klasifikacija zemljišta prema proizvodnim osobinama, gde su zemljišta podeljena u četiri klase:

- **I klasa** – zemljišta sa najstabilnijom i najvišom proizvodnom vrednošću;
- **II klasa** – zemljišta nešto niže proizvodne vrednost, ali se na njima uz primenu odgovarajuće agrotehnike, upotrebu većih količina đubriva i uz potrebnu vlažnost mogu postizati visoki prinosi;
- **III klasa** – zemljišta slabe proizvodne vrednosti, najviše se koriste se za voćnjake, vinograde, pašnjake i šume;
- **IV klasa** – zemljišta vrlo niske plodnosti gde preduzimanje meliorativnih mera nema značaja za biljnu proizvodnju, koriste se za pašnjake ili šume.

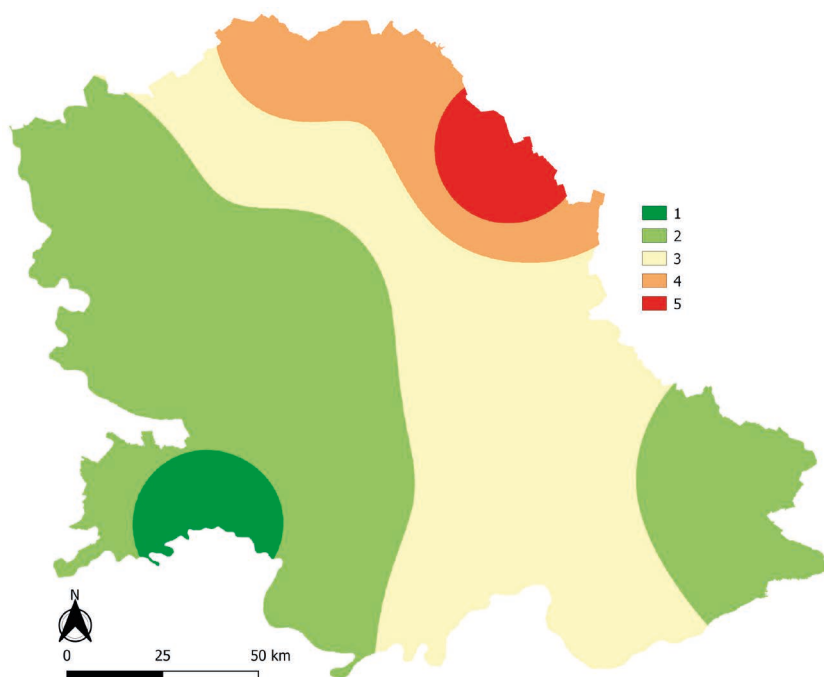
Reklasifikacija proizvodnih osobina zemljišta (Slika 5.4) je izvršena na sledeći način: zemljištima sa najboljim proizvodnim osobinama je dodeljena 1. klasa ranjivosti, zemljištima sa nešto slabijim proizvodnim osobinama je dodeljena 2. klasa ranjivosti, zemljištima sa slabim proizvodnim osobinama je dodeljena 4. klasa ranjivosti a zemljištima sa vrlo niskom plodnošću je dodeljena 5. klasa ranjivosti po ovom kriterijumu, slika 5.4. Oko 34% zemljišta Vojvodine imaju visoku proizvodnu vrednost (1), 54% zemljišta imaju nešto slabije proizvodne osobine (2), 11% zemljišta imaju slabe proizvodne vrednosti (4) a oko 1% zemljišta su vrlo niske plodnosti i spadaju u 5. klasu ranjivosti po ovom faktoru.

Potrebe poljoprivrednih kultura za navodnjavanjem

Potrebe poljoprivrednih kultura za navodnjavanjem su određene korišćenjem simulacionog modela WinSAREG (Pereira i sar., 2003; Parades i Pereira, 2010) koji se bazira na FAO-56 metodologiji za proračun evapotranspiracije, vodnog bilansa i potreba za navodnjavanjem (Allen i sar., 1998). Potrebe za navodnjavanjem su proračunate za devet poljoprivrednih kultura (kukuruz, soja, šećerna repa, suncokret, krompir, grašak, kupus, vinova loza i jabuka) za devet meteoroloških stanica u Vojvodini (Bečej, Kikinda, Palić, Rimski Šančevi, Sremska Mitrovica, Sombor, Vršac, Zrenjanin i Beograd) u višegodišnjem periodu od 1971. do 2017. godine. Evapotranspiracija useva je računata na osnovu koeficijenata useva za određene faze razvoja. U cilju procene ranjivosti na poljoprivrednu sušu, vrednosti prosečnih potreba za navodnjavanjem su klasifikovane u pet ekvidistantnih klasa sa vrednostima od 1 do 5, za svaku kulturu. Zatim je izvršeno njihovo sabiranje i ponovna klasifikacija u pet ekvidistantnih klasa. Time je dobijena rezultujuća karta koja objedinjava potrebe za navodnjavanjem svih devet analiziranih kultura i ona zapravo predstavlja kartu ranjivosti na poljoprivrednu sušu po ovom kriterijumu, Slika 5.5.



Slika 5.4. Reklasifikovana karta proizvodnih osobina zemljišta u Vojvodini



Slika 5.5. Reklasifikovana karta prosečnih potreba poljoprivrednih useva za navodnjavanjem

Način korišćenja zemljišnog pokrivača

Sloj načina korišćenja zemljišta je izveden iz CORINE Land Cover 2012 (CLC2012) prostorne baze podataka o zemljišnom pokrivaču. Reklasifikacija CLC2012 prostorne baze podataka je izvršena tako što je klasama "Pašnjaci" i "Pretežno poljoprivredna zemljišta s većim područjima prirodne vegetacije" dodeljena vrednost 1 koja označava najnižu vrednost ranjivosti na sušu, klasama "Nenavodnjavano obradivo zemljište", "Vinogradi", "Plantaže voćaka i znatog voća" i "Kompleks kultivisanih parcela" je dodeljena vrednost 2 koja označava nešto veći stepen ranjivosti, a ostale klase su izuzete iz procene rizika od poljoprivredne suše, Slika 5.6. Tu spadaju urbane i veštačke površine, šumska područja i vodene površine. Pašnjacima i poljoprivrednim područjima gde je prirodna vegetacija znatno zastupljena je dodeljena niža vrednost ranjivosti na sušu nego ostalim poljoprivrednim površinama zbog veće prilagodljivosti vegetacije na tim područjima vremenskim prilikama (Wilhelmi i Wilhite, 2002).

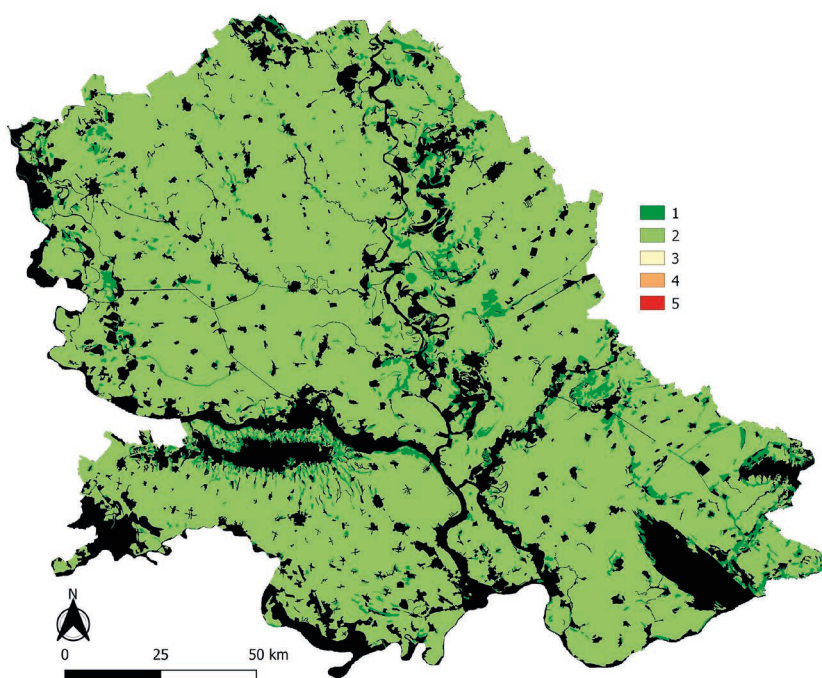
Određivanje vrednosti težinskih koeficijenata

Pojedini faktori ranjivosti i hazarda, zbog prirode svoje pojave, mogu imati veći ili manji uticaj na krajnji rezultat procene rizika i zbog toga im je potrebno dodeliti odgovarajuće težinske koeficijente. U ovoj studiji je za određivanje težinskih koeficijenata metoda analitičkog hijerarhijskog procesa AHP.

Analitički hijerarhijski proces – AHP (Saaty, 1980) je jedan od najčešće korišćenih metoda višekriterijumske analize za podršku odlučivanju u poljoprivredi (Matić-Kekić i Draginčić, 2013). AHP metodologija podrazumeva formiranje hijerarhije problema odlučivanja, gde se cilj nalazi na vrhu, ispod su kriterijumi, a na dnu su alternative. Kriterijumi se u parovima vrednuju u odnosu na cilj, a zatim i alternative u odnosu na svaki kriterijum. To znači da se vrednovanja vrše poređenjem u parovima svih elemenata na istom nivou hijerarhije u odnosu na elemente na višem nivou. Svakom poređenju dodeljuju se numeričke vrednosti sa Satijeve skale relativnog značaja (Draginčić et al., 2011). Detaljan opis dodeljivanja težinskih vrednosti metodom AHP-a se može pronaći u literaturi (Blagojević et al., 2016a; Blagojević et al., 2016b; Blagojević et al., 2016c; Srdjević et al., 2015; Blagojević et al., 2014; Bezdan et al., 2019).

Za potrebe ove studije, poređenje između alternativa – faktora ranjivosti (proizvodne osobine zemljišta, način korišćenja zemljišta i potrebe useva za navodnjavanjem) je izvršeno na bazi literaturnih podataka i mišljenja eksperata. Na osnovu primene AHP metodologije dobijene su sledeće vrednosti težinskih koeficijenata faktora ranjivosti na suše: proizvodne osobine zemljišta (0.5), potrebe useva za navodnjavanjem (0.4) i način korišćenja zemljišta (0.1).

Rezultati određivanja težinskih vrednosti faktora ranjivosti metodom AHP-a pokazuju da najveći uticaj na ranjivost na poljoprivrednu sušu imaju proizvodne osobine zemljišta i potrebe poljoprivrednih useva za navodnjavanjem a način korišćenja zemljišta ima znatno manji uticaj.

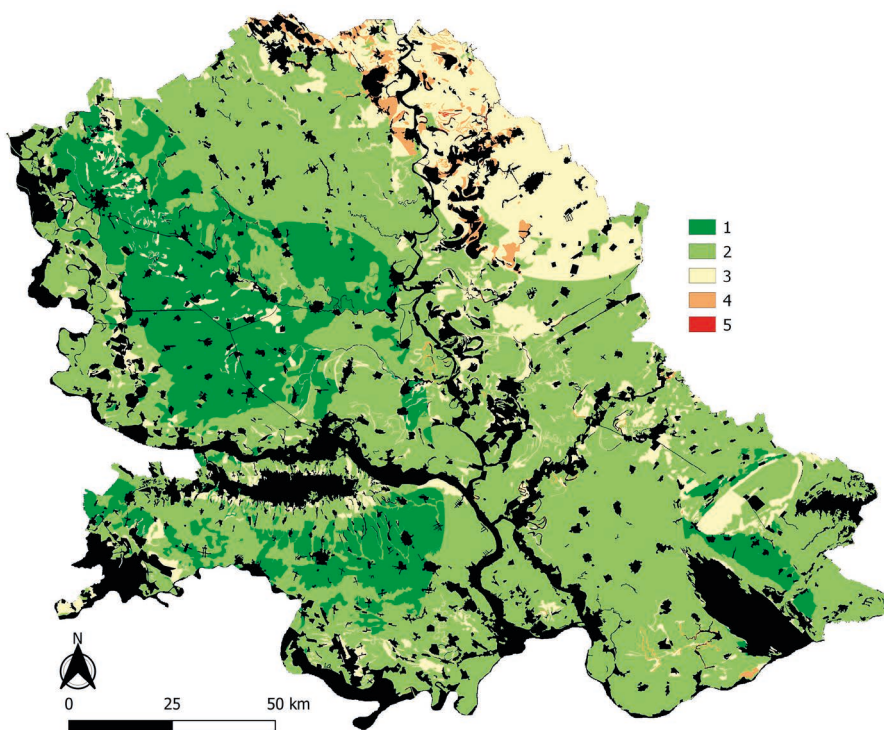


Slika 5.6. *Reklasifikovana karta načina korišćenja zemljišnog pokrivača*

Karta ranjivosti na poljoprivrednu sušu

Množenjem rasterskih slojeva faktora ranjivosti na sušu (karakteristike zemljišta, karakteristike reljefa, načina korišćenja zemljišnog pokrivača i potreba useva za navodnjavanjem) sa odgovarajućim težinskim koeficijentima, zatim sabiranjem tih slojeva u GIS-u i njihovom klasifikacijom u pet ekvidistantnih klasa dobijena je karta ranjivosti na poljoprivrednu sušu (Slika 5.7).

Veći deo teritorije Vojvodine, oko 54% površine, ima niske vrednosti ranjivosti na poljoprivrednu sušu (klase ranjivosti 1 i 2). Površine sa najnižom klasom ranjivosti su u Sremu i centralnim i zapadnim delovima Bačke gde vladaju veoma pogodni uslovi u vidu niskih potreba useva za navodnjavanjem i povoljnim karakteristikama pedološkog pokrivača. Najnepogodniji reoni u pogledu ranjivosti na sušu su severoistočni krajevi Banata uglavnom zbog nepovoljnih klimatskih i pedoloških karakteristika u odnosu na ostale krajeve Vojvodine.



Slika 5.7. Karta ranjivosti na poljoprivrednu sušu

Procena hazarda od suše

Da bi se mogla izvršiti procena hazarda potrebno je odabrati odgovarajuće indikatore suše i odgovarajuće metode njihove analize. U ovoj studiji razmatran je indeks SPEI3 u julu mesecu jer su prethodne analize pokazale da je jedan od najpogodnijih indeksa za praćenje poljoprivredne suše. Posmatrajući generalno, hazard kvantifikuje verovatnoću pojave potencijalno štetnog događaja. Hazard se može proceniti na osnovu intenziteta i verovatnoće pojave potencijalno štetnog događaja. Na ovom principu je baziran Drought Hazard Indeks –DHI (Dabanli, 2018; Kim i sar., 2015; Shahid i Behrrowan, 2008). Verovatnoća pojave je određena na osnovu frekvencije pojavljivanja suše određenih kategorija (Sonmez i sar., 2005). Kao što je prethodno rečeno, suša je posmatrana indeksom SPEI3 u julu mesecu. Prema procedure računanja DHI, kategorijama suše dodeljene su težinske vrednosti, a zatim je svakoj kategoriji suše dodeljena odgovarajuća ocena na osnovu frekvencije pojavljivanja (Tabela 5.3). Primenjen je princip da se intenzivnijim kategorijama suše dodele veće težinske vrednosti. Takođe, ako se suša često javlja na nekom području, dodeljuje se veća vrednost ocene.

Tabela 5.3. Težine i ocene dodeljene odgovarajućim kategorijama suše

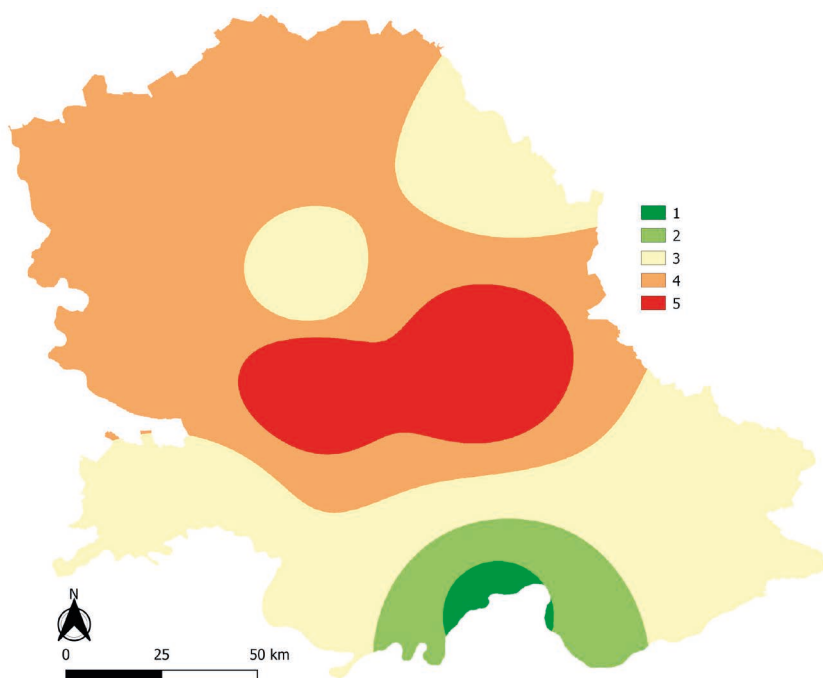
SPEI3 Jul	Kategorija suše	Težina (W)	Frekvencija pojavljivanja	Ocena (R)
0 do -0.99	Normalni uslovi / blaga suša (ND)	1	Niska	1
			Umerena	2
			Visoka	3
			Veoma visoka	4
-1.00 do -1.49	Umerena suša (MD)	2	Niska	1
			Umerena	2
			Visoka	3
			Veoma visoka	4
-1.50 do - 1.99	Jaka suša (SD)	3	Niska	1
			Umerena	2
			Visoka	3
			Veoma visoka	4
< -2.00	Ekstremna suša (ED)	4	Niska	1
			Umerena	2
			Visoka	3
			Veoma visoka	4

DHI se dobija integracijom težinskih vrednosti i ocena na sledeći način:

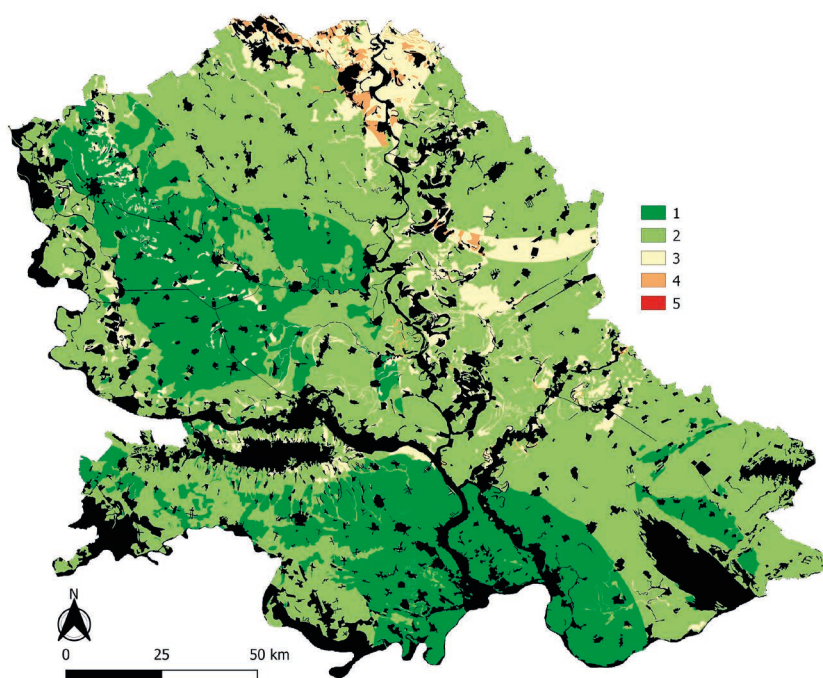
$$DHI = (ND_w \times ND_R) + (MD_w \times MD_R) + (SD_w \times SD_R) + (ED_w \times ED_R)$$

Gde ND, MD, SD i ED predstavljaju kategorije suše, W predstavlja odgovarajuću težinsku vrednost, a R predstavlja odgovarajuću ocenu.

DHI je izračunat sa svaku posmatranu meteorološku stanicu, za period od 1971 do 2017. godine. Vrednosti DHI su reklasifikovane da odgovaraju opsegu od 1 do 5, gde 1 odgovara najmanjoj vrednosti hazarda, a 5 najvećoj. Rezultat je prikazan na karti na slici 5.8. Može se uočiti da su najugroženiji centralni delovi Vojvodine, a najmanje ugroženi sušom su južni krajevi.



Slika 5.8. Karta hazarda od suše prema indeksu DHI



Slika 5.9. Karta rizika od poljoprivredne suše na teritoriji Vojvodine

Procena rizika od poljoprivredne suše

Procena rizika na poljoprivrednu sušu je izvršena prema metodi koja se bazira na formuli gde je rizik jednak proizvodu hazarda i ranjivosti. U prethodnim koracima izvršene su procene ranjivosti na poljoprivrednu sušu i opasnosti od suše. Preklapanjem tih slojeva u GIS-u, njihovim množenjem i klasifikacijom rezultujuće karte na pet ekvidistantnih klasa dobijena je karta rizika od poljoprivredne suše na teritoriji Vojvodine (Slika 5.9).

Procenjeno je da je najveći rizik od poljoprivredne suše, 4. klasa rizika, u severnim - severoistočnim krajevima Vojvodine. U tim krajevima je procenjena najveća vrednost hazarda i visoka ranjivost zbog lošijih osobina zemljišta i visokih potreba za navodnjavanjem poljoprivrednih kultura u poređenju sa ostalim krajevima. Oko 2% teritorije Vojvodine, u koju se ne ubrajaju urbane i veštačke površine, šumska područja i vodene površine, spada u 4. klasu rizika. Na oko 8% teritorije Vojvodine procenjena je 3. klasa rizika, na oko 64% teritorije 2. klasa a na oko 26% 1. klasa, odnosno najmanja klasa rizika od poljoprivredne suše. Najmanji rizik je procenjen u severozapadnom delu Vojvodine u okolini Sombora i na jugu Vojvodine na potezu od Sremske Mitrovice, preko Beograda do okoline Vršca, pre svega zbog povoljne kombinacije klimatskih i zemljišnih uslova.

6. Socioekonomske posledice suša i suvišnih unutrašnjih voda u Vojvodini/Srbiji

Imre Nagy; Gordana Vuksanović; Minučer Mesaroš; Slobodan Marković; Milivoj Gavrilov; Dragoslav Pavić; Biljana Basarin; Tin Lukić

Uvod

Analiza kvantitativnih podataka ukazuje na naglašeno uvećanje broja prirodnih katastrofa. Dok je u periodu od 2007. do 2016. godine evidentirano 354 prirodnih katastrofa, samo u toku 2017. godine njihov broj dosegao je 335 (CRED 2018). Prema učestalosti, na globalnom nivou izdvajaju se sledeće katastrofe: poplave, oluje, zemljotresi, ekstremne temperature, klizišta, suše, požari, vulkanske aktivnosti, masovna pomeranja tla (suva). Prema navedenom izvoru, u periodu od 1998. do 2017. godine u ukupnom broju prirodnih katastrofa suša učestvuje sa 4,8 % i nalazi se na šestom mestu. Suše su znatno manje učestale u odnosu na najbrojnije prirodne katastrofe, oluje i poplave, ali je broj pogođenih ljudi veoma visok. Na primer, u toku 2017. godine 126 poplave ugrozile su 55 miliona ljudi, dok se 7 suša negativno odrazilo na 10 miliona ljudi. Na sve veće posledice suša ukazuju i procene ekonomskih gubitaka. Za deset godina, od 2007. do 2016. godine, suše su izazvale gubitke u visini od 7,8 biliona dolara. U toku samo jedne, 2017. godine, ukupni ekonomski gubici iznose 2,4 biliona američkih dolara.

Za razliku od drugih prirodnih katastrofa, suša se razvija sporije i dugo traje. Njene posledice ne zavise samo od intenziteta kojim se ispoljava, već i od stepena ekonomske razvijenosti zemlje. Razvijene zemlje u mogućnosti su da ublaže posledice suše i lakše se suočavaju sa njima. Za siromašne zemlje suša je često pitanje života ili smrti. One ne raspolazu resursima kojima bi se umanjile negativne posledice na ljude i na ekonomiju.

U Republici Srbiji suše su izražene u severoistočnim, istočnim i južnim delovima zemlje (Pravilnik o nacionalnoj listi indikatora zaštite životne sredine, 2011). U odnosu na srednju globalnu vrednost, u Srbiji je brže zagrevanje. Očekuje se da će krajem 21. veka srednja temperatura u Srbiji biti za 6°C viša, dok će se srednja globalna vrednost temperature uvećati za 4,5°C (Vuković, 2006). Samim tim, uvećać se učestalost i negativne posledice suša.

Pored suša, negativan uticaj po društveni razvoj ostavljaju i suvišne unutrašnje vode. Dva osnovna izvora podzemnih voda su kiša i/ili istopljeni sneg i porast nivoa vode. Najčešće se javljaju u proleće i, poput suša, izazivaju velike štete u poljoprivredi. Pravovremenim organizovanjem, uz odgovarajuće tehničke kapacitete, one se mogu iskoristiti za prevenciju negativnih posledica suše. Nažalost, suvišne unutrašnje vode nisu dovoljno iskorišćene. U ukupno zahvaćenim vodama u periodu

2007 – 2013 podzemne vode čine svega od 12,0% do 14,0 % i najmanje se koriste za navodnjavanje (Poreklo ukupno zahvaćene vode [bez vode za proizvodnju hidroenergije] za period 2007-2013).

Podaci empirijskih istraživanja pokazuju da posledice klimatskih promena i prirodnih katastrofa stanovništvo prepoznaje na tri nivoa: nivo pojedinca / porodice, lokalne samouprave i nivo šire društvene zajednice (Vuksanović & Nagy, 2017):

- Na nivou pojedinca izdvajaju se zdravstveni problemi i osećaj ekonomske nesigurnosti.
- Lokalni autoriteti ističu probleme koji se uočavaju na nivou lokalne samouprave: uništavanje objekata, useva, siromašenje stanovništva, tj. uvećanje lica u stanju socijalne potrebe.
- Na nivou šire društvene zajednice prepoznaju se područja sa naglašenim ekonomskim, socio – demografskim i ekološkim problemima prouzrokovanim prirodnim katastrofama.

Faktori koji determinišu društveno-ekonomske posledice elementarnih nepogoda

Faktora koji određuju društveno-ekonomske posledice elementarnih nepogoda mogu se podeliti u tri kategorije: socio-demografske karakteristike stanovništva; informisanost o klimatskim promenama i prirodnim katastrofama; edukovanje stanovništva o klimatskim promenama i prirodnim katastrofama.

Socio-demografske karakteristike stanovništva

Nepripremljenost na nacionalnom nivou kao svoju posledicu ima neprilagođenost lokalnih samouprava, domaćinstava i pojedinaca klimatskim promenama i njihovim posledicama. Posledice suša i suvišnih unutrašnjih voda ne ogledaju se samo u direktnim materijalnim i ljudskim žrtvama, već u indirektnim posledicama kao što je, na primer, napuštanje poljoprivredne proizvodnje, a potom i seoskih naselja. Socio – demografske karakteristike naših naselja otežavaju suočavanje sa prirodnim katastrofama. Kao najprepoznatljivije probleme treba navesti (prema: Vuksanović & Nađ, 2017):

- Depopulacija i senilizacija seoskih naselja, tj. visok udeo starog stanovništva. Na primer, u Jaši Tomić, u vreme poplave iz 2005. godine, 30,0 % stanovništva je pripadalo kategoriji starog stanovništva (Vuksanović, 2011).
- Napuštanje seoskih sredina i koncentracija stanovništva u urbanim sredinama.
- Visok udeo stanovništva koje zahteva kontinuiranu zdravstvenu zaštitu.

- Visok udeo stanovništva ograničene pokretljivosti. Na primer, u vreme poplave u Jaši Tomić nalazi se 60 nepokretnih stanovnika (Vuksanović, 2011).
- Nedovoljno razvijena infrastruktura (dotrajali putevi, ili njihovo odsustvo; neizgrađeni ili dotrajali vodovod i kanalizacija...)
- Ne ulaže se u postojeću infrastrukturu.
- Usled depopulacije, prestaju sa radom različite institucije, među prvima, zatvaraju se obrazovne i kulturne institucije.
- Zatvaranjem obrazovnih i kulturnih institucija smanjuje se mogućnost edukovanja malobrojnog stanovništva.
- Kao posledica navedenih promena, javlja se problem ljudskog faktora u suočavanju sa prirodnim katastrofama. Ljudski potencijal čini neobučeno malobrojno sredovečno i starije stanovništvo.
- Neobrađene i zarasle travom njive što širi opasnost od požara.
- Mehanizacija koja se može iskoristiti u situacijama prirodnih katastrofa stari, ne obnavlja se i gubi funkciju.
- Stambeni objekti propadaju usled neodržavanja i više su podložni razaranju u situacijama prirodnih katastrofa.
- Loša materijalna situacija većine domaćinstava utiče na "brzinu saniranja posledica..."

Informisanost o klimatskim promenama i prirodnim katastrofama

Informisanost utiče na blagovremenu pripremu, smanjenje materijalnih i ljudskih gubitaka, evakuaciju ljudstva i pokretne imovine. Bez prethodne pripreme veći su i gubici i nivo stresa.

Istraživanje realizovano u opštini Kanjiža pokazuje da većina, 176 (71,5 %), ispitanika smatra da ne dobijaju dovoljno informacija o potencijalnoj prirodnoj katastrofi od nadležnih institucija. Više od 1/2 (55,1 %) ne zna gde mogu da dobiju informaciju o mogućim prirodnim katastrofama i načinu pripreme za njih. (Vuksanović & Nađ, 2017).

Edukovanje stanovništva o klimatskim promenama i prirodnim katastrofama.

U Srbiji, edukovanje stanovništva o klimatskim promenama i prirodnim katastrofama ili u potpunosti izostaje ili proističe iz aktivnosti dobrovoljnih udruženja kao što su, na primer, vatrogasna društva. Prema rečima člana opštinskog veća za vanredne situacije u opštini Kanjiža edukovanje lokalnog stanovništva o merama odbrane i

zaštite u vanrednim situacijama: „vrše dobrovoljna vatrogasna društva. Udruženja broje 220 članova, koji su izuzetno dobro obučeni na polju zaštite i spašavanja.” (Vuksanović & Nađ, 2017)

Prema izjavi direktora poljoprivredne škole u Kanjiži, i kada postoji inicijativa neke od nadležnih institucija, ona se ne prihvata od stanovništva: “Od Ministarstva za zaštitu životne sredine smo dobili jednu brošuru koju su sva deca dobila da ponesu kući. U njoj su opisane razne vanredne situacije i potencijalne opasnosti koje nas mogu snaći. Brošura sadrži brojeve telefona na koje građani mogu da se obrate u takvim situacijama. Ove brošure su đaci ponedli kući roditeljima. Inače, roditelji nisu zainteresovani za tu tematiku. Na roditeljskim sastancima se interesuju samo za ocene”.

Na nezainteresovanost stanovništva da se aktivno uključe u rad organizacija koje su aktivne u situacijama prirodnih katastrofa ukazuju i podaci prema kojima 73,7 % ispitanika nikada nije učestvovalo u aktivnostima preventivnog karaktera, dok 88,0 % ispitanika nisu članovi ni organizacije za civilnu zaštitu ni dobrovoljne vatrogasne brigade (Vuksanović & Nađ, 2017).

I pored toga što pokazuju ličnu nezainteresovanost, prema istom istraživanju, više od 3/5 (62,0 %) uzorka smatra da nisu dovoljno, odnosno potpuno pripremljeni, a 1/3 (33,2 %) nije uopšte pripremljena za suočavanje sa prirodnim katastrofama.

U opštini Kanjiža, edukovanje stanovništva za snalaženje u situacijama elementarnih nepogoda odvija se na nivou osnovnih i srednjih škola, a u planu je i uključivanje predškolskih institucija. U školama se izvode vežbe zaštite od požara: “Važno je da se učenici upoznaju sa potencijalnim opasnostima od požara, a koji u slučaju suše mogu biti veoma opasni. I jedan namerno bačeni opušak cigarete može prouzrokovati pravu katastrofu. Kao vanrednu situaciju doživljavamo sušu, kao i proleća sa natprosečnim količinama padavina... Nama zbog nasipa ne pretila opasnost od same reke, ali voda se na njivama ipak pojavila zbog povišenog nivoa podzemnih voda. Iako ljudi grade da bi preprečili put reci, ona svakako negde mora oteći, a ako ne može svojim prirodnim putem, ona izbija u gradovima i na poljima” (direktor poljoprivredne škole u Kanjiži).

Svest o klimatskim promenama

Putem različitih medija i njihovih sadržaja šire se saznanja o klimatskim promenama i njihovim posledicama: „Što se tiče globalnih klimatskih promena i njihovih uzroka, gotovo su svi stekli određen nivo saznanja zahvaljujući brojnim naučno – popularnim emisijama. Međutim, na osnovu ličnog iskustva mogu da zaključim da ljudi ovu pojavu smatraju kao nešto veoma udaljeno i apstraktno... Veliki broj ljudi smatra da njihov način života ne utiče na globalne tokove, što na duge staze nije ispravan stav”. (predstavnik civilne organizacije; prema: Vuksanović & Nađ, 2017)

Prema pomenutom istraživanju, uticaj klimatskih promena na svakodnevni život znatno više uočavaju žene nego muškarci, starije stanovništvo u odnosu na mlađe.

Izostajanje svesti o mogućoj katastrofi uslovljava potpunu nepripremljenost i pometnju kada dođe do njenog ispoljavanja. Evakuacija, u slučaju da je neophodna, svodi se na spasavanje stanovništva.

Društveno-ekonomske posledice potencijalnih klimatskih promena

U nekim savremenim istraživanjima (WAHASTRAT¹) ispitivalo se mišljenje stanovništva o suši kao elementarnoj nepogodi (kako objašnjavaju pojavu suše, koji su efekti suše (*stepen povećanja efekata, distribucija važnosti mera za ublažavanje suše, kakve su mogućnosti za upravljanje problemima suše*), kao i značaj suše u životu lokalnog stanovništva, kakav uticaj ima na poljoprivredu i u kojoj meri je trenutna struktura poljoprivrede održiva.

Istraživanja o suvišnim unutrašnjim vodama (projekat MERIEXVA²) analizira koliko klimatske promene imaju značaj u pojavi suvišnih unutrašnjih voda; šta misle stanovnici o posledicama poplava, unutrašnjim vodama, kakva rešenja stanovništvo predviđa (načini prevazilaženja problema, šta preduzeti)

- U istraživanjima na temu Klimatske promene – Privreda – Društvo istražuju se:
- Stavovi stanovništva (klimatske promene u odnosu na ostale društvene probleme, ko sve treba da učestvuje u rešavanju klimatskih promena)
- Percipiranje (percepcije) posledica klimatskih promena;
- Sopstveno (materijalno) učešće u rešavanju problema izazvanih klimatskim promenama
- Kako se stanovništvo odnosi prema klimatskim promenama (Czirfusz et al. 2015).

Veoma velike posledice od suša i suvišnih pozemnih voda trpi poljoprivredni sektor. Što je suša naglašenija, a podzemne vode manje iskorišćene, veće su negativne posledice na rast i razvoj poljoprivrednih kultura.

Da li će se ispoljiti negativne posledice suše u poljoprivrednoj delatnosti zavisi od: karakteristika zemljišta, nivoa podzemnih voda, deficita padavina, vrste kulture koja se gaji, temperature, agrotehnike itd. Ukoliko uporedimo rodnu, 1991. godinu, i sušnu, 2003. godinu, uočićemo razlike u prinosima, vrednosti proizvodnje i gubitku proizvodnje (Tabela 6.1).

1 WAHASTRAT - Water shortage hazard and adaptive water management strategies in the Hungarian-Serbian cross-border region

2 MERIEXVA - Measurement, monitoring, management and Risk assessment of inland Excess Water in South-East Hungary and North Serbia (Using remotely sensed data and spatial data infrastructure)

Tabela 6.1. Prikaz godišnjih gubitaka i prinosa ratarskih kultura u Vojvodini

Kultura	Prinos (t/ha)		Vrednost proizvodnje (000 US\$)		Gubitak proizvodnje (000 US\$)
	1991	2003	1991	2003	
Pšenica	4,5	2,2	351.000	171.600	179.400
Kukuruz	5,9	3,2	757.030	384.930	372.100
Suncokret	2,2	1,8	59.400	48.600	10.800
Soja	2,6	1,7	93.236	60.960	32.276
Šećerna repa	44,9	27	60.615	36.450	24.165
UKUPNO			1.323.272	704.543	618.741

Izvor: Institut za vodoprivredu Jaroslav Černi, Zavod za vodosnabdevanje, Upravljanje vodnim resurskima Srbije 2009.

Nažalost, obim i kvalitet prinosa ne predstavljaju jedinu posledicu suša i suvišnih podzemnih voda. Na osnovu analize članaka objavljenih u elektronskom glasilu *Agro-klub* u toku 2015, 2016, 2017. i 2018. godine, a koji se odnose na sušu, uočava se niz društvenih posledica ove prirodne katastrofe. Do zaključaka se dolazi uvidom u iskustva individualnih poljoprivrednih gazdinstava, poljoprivrednih zadruga, procena na različitom nivou.

Podaci o društvenim i ekonomskim posledicama suvišnih unutrašnjih voda su veoma skromni. Ukratko, nedostaju sistematska interdisciplinarna naučna istraživanja.

Prilikom istraživanja društvenih posledica suše treba imati u vidu da njeno negativno dejstvo uvećavaju prateća dešavanja, grad i olujni vetrovi. Kao najznačajnije posledice mogu se izdvojiti:

- Smanjen obim i kvalitet prinosa (umanjena nutritivna vrednost)
- Sušenje sadnica kod novopodignutih zasada i sušenje listova i mladara u starijim zasadima
- Suše u toku jula i avgusta meseca utiču na formiranje pupoljaka voća
- Javljaju se bolesti različitih poljoprivrednih kultura
- Smanjuje se obim i kvalitet silaže
- Oskudna ispaša
- Smanjena količina stočne hrane dovodi u pitanje mogućnost ishrane stoke, kao i njene priplodne mogućnosti
- Usled umanjene ponude, raste cena poljoprivrednih proizvoda na tržištu
- Porast cena poljoprivrednih proizvoda umanjuje kupovnu moć nižih društvenih slojeva

- Uvećava se broj požara u periodu suše
- Zbog neizvesnosti proizvodnje i čestih gubitaka, dolazi do napuštanja poljoprivredne proizvodnje, ili se smanjuju obradive površine i stočni fond

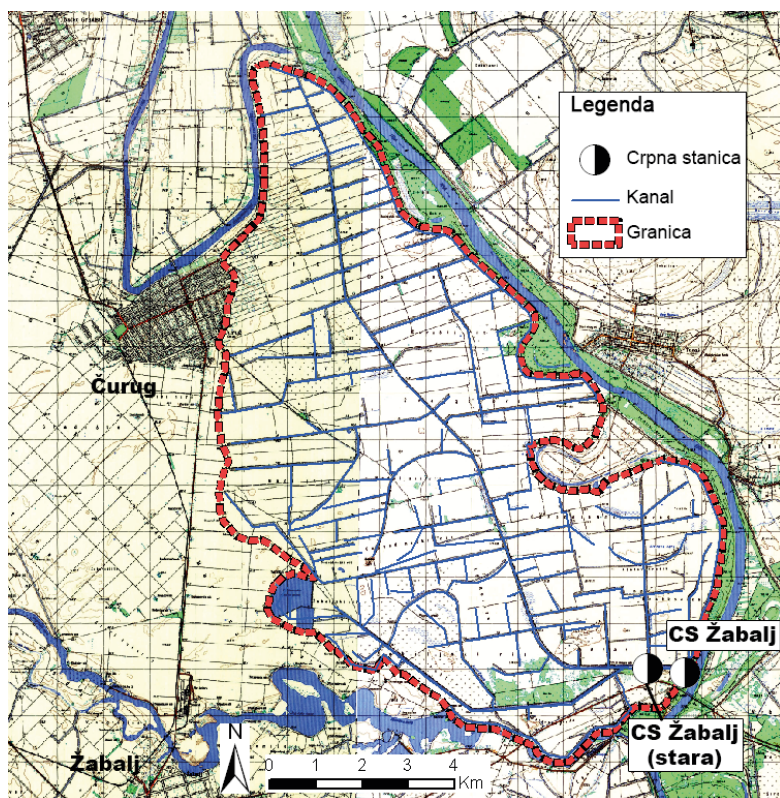
Imajući u vidu kontinuirano suočavanje sa sušama i suvišnim unutrašnjim vodama, treba razviti programe koji će omogućiti da se spreče ili ublaže njihove negativne posledice upotrebom suvišnih unutrašnjih voda u periodu suše.

7. Čuruško-Žabaljski sliv

Atila Bezdan, Olivera Gavrilović, Milan Njegomir, Aniko Blažević,
Duško Janković, Milica Vranešević, Boško Blagojević, Pavel Benka

Opis lokacije

Područje Čuruškog - Žabaljskog sliva (slike 7.1 i 7.2) nalazi se u jugoistočnom delu Bačke i ograničeno je na istočnom delu rekom Tisom, sa juga i zapada kanalom Jegrička i granicom atara naselja Nadalj, a sa severa granicom atara naselja Bačko Gradište i mrtvom Tisom. Ono obuhvata pet katastarskim opština i sa hidrografskog stanovišta predstavlja jednu jedinstvenu celinu.

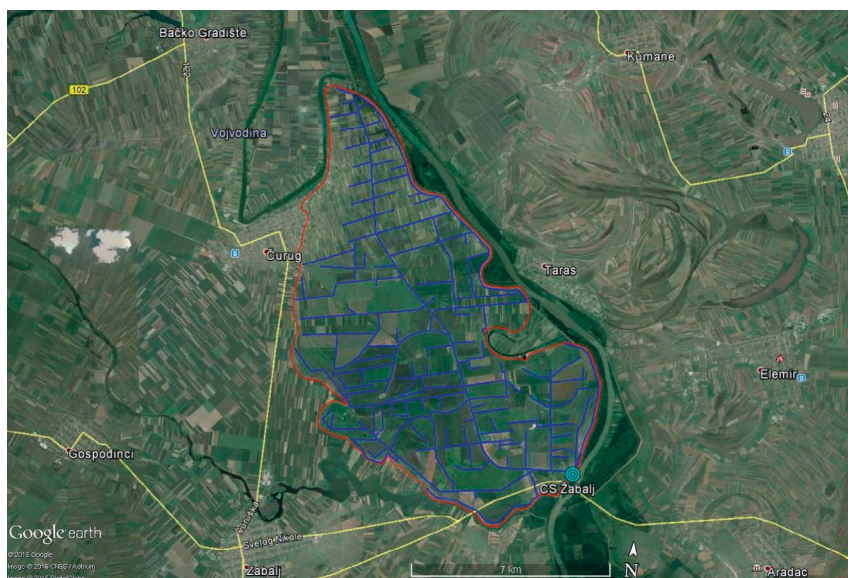


Slika 7.1. Karta Čuruško - Žabaljskog sliva

U topografskom, geološkom i hidrogeološkom pogledu područje je podeljeno na dva karakteristična dela i to:

- Zapadni deo područja površine 11.236 ha čini lesna terasa na prosečnoj nadmorskoj visini 81,00 sa nivoom podzemne vode u amplitudi 76,00 – 77,00.
- Istočni deo područja površine 9500 ha čini Čuruško – Žabaljski rit na prosečnoj nadmorskoj visini 74,00 zaštićen od velikih voda reke Tise odbrambenim nasipom.

Zemljište lesne terase je černoziem na lesnoj podlozi, a zemljište rita koje je nekad bilo poplavno područje reke Tise formirano je od rečnog naplavljenog materijala, najčešće glina i ilovača dok su dublji slojevi od sitnog peska mestimično prošaranog sočivima i proslojcima slabije propustljivog materijala.



Slika 7.2. Satelitski snimak (Googl Earth) Čuruško – Žabaljskog sliva

U visinskom pogledu područje obuhvata dve karakteristične terase. Prva terasa je "niska" čije se kote terena kreću od 73,00 – 75,00 m i obuhvataju istočni deo Čuruško – Žabaljskog područja neposredno uz reku Tisu. Druga terasa "visoka" obuhvata zapadni deo područja čije se kote terena kreću u granicama od 79,00 – 83,00 m apsolutne visine.

Na znatnoj površini rita nivo podzemne vode je visok, a u proleće velike površine zemljišta su duže vreme prekrivene stajaćom vodom. Loš hemijski sastav podzemne vode dovodi zemljište u proces degradacije i gubitka proizvodnog potencijala. Nepovoljan topografski smeštaj sliva čije se vodopropusno zemljište puni tuđom podzemnom vodom i to: za visoke lesne terase i iz Jegričke stalno, a iz Tise i mrtve Tise povremeno, dovodi do prekomernog vlaženja aktivnog sloja odozdo. Za potrebe Čuruškog – Žabaljskog sliva postavlja se pitanje odvođenja površinskih voda koje se

u proleće i posle jačih pljuskova skupljaju u depresijama i ometaju poljoprivrednu proizvodnju.

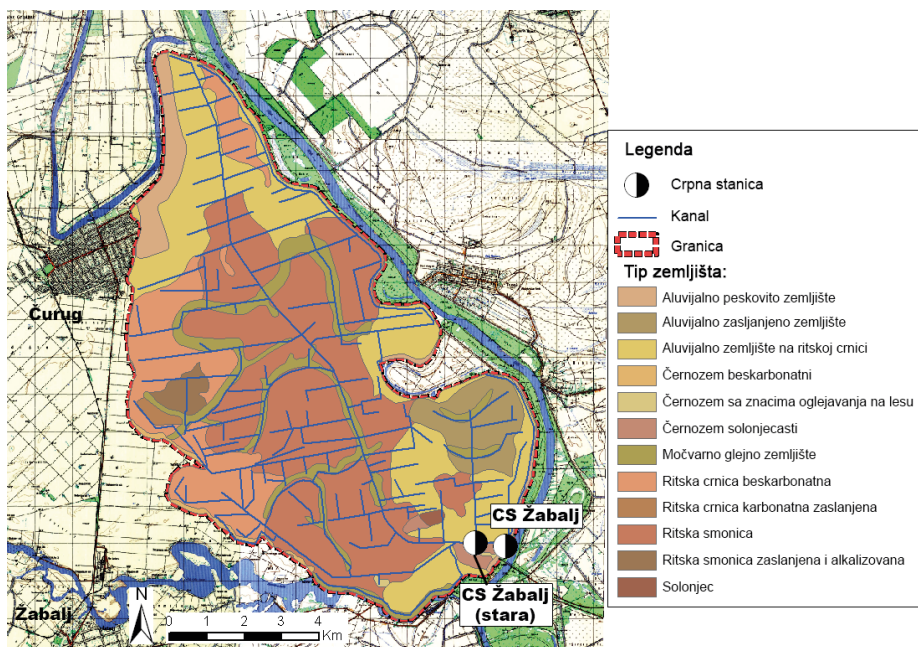
Geomorfološke i geološke karakteristike područja

Geomorfološki kao i cela Bačka i ovo područje je deo panonske nizije, koje je spuštено između Karpata, Alpa i Dinarskih planina. Današnji oblici u panonskoj niziji pa i na ovom području su rezultati rada unutrašnjih i spoljnih sila koje su na ovom području delovale i koje su jasno visinski izražene. Naime niži deo ovog sliva je inundaciona ravan, Tise, a viši deo je lesna terasa prekrivena lesom i lesolikim materijalom.

Na osnovu ovakvih visinskih odnosa imamo mogućnost, da teritoriju ovoga sliva podelimo na dve oblasti, koje se među sobom razlikuju ne samo po visinskom položaju nego i po morfološkim oblicima, sastavu i načinu postanka. Prema ovim odlikama ovo područje možemo podeliti na dve morfološke celine. Lesnu terasu i inundacionu aluvijalnu ravan.

Pedološke karakteristike područja

Prilikom kartiranja na ovom području je utvrđeno 12 tipova, podtipova i varijeteta zemljišta prikazano na slici 7.3 (Pantelić, 1966).



Slika 7.3. Pedološka karta Čuruško - Žabaljskog sliva

Prema pedološkim podacima da se zaključiti da je ovo područje neophodno dobro odvodnjavati, a tek onda potom pristupiti drugim agro-merama za podizanje potencijala moći istoga.

Osnovne karakteristike sistema za odvodnjavanje prema projektu iz 1966. godine

Glavnim projektom iz 1966. godine Čuruško – Žabaljsko područje je podeljeno u tri podsistema od čega se rit odvodnjava jednom crpnom stanicom kapaciteta 9,50 m³/s, a ostala dva podsistema su gravitacioni slivovi i odvodnjavaju se u "Mrtvu Tisu" i regulisani kanal Jegričku (Pantelić, 1966).

Kod određivanja potrebnih proticaja na pojedinim delovima kanalske mreže, odnosno kod dimenzionisanja pojedinih kanala i njihovih deonica i objekta korišćeni su utvrđeni moduli odvodnjavanja određeni i dokumentovani u odobrenom Idejnom projektu odvodnjavanja Čuruško – Žabaljskog sliva, s tim da je modul odvodnjavanja za rit zaokružen sa 0,90 l/s/ha na 1,00 l/s/ha.

Prema tome za odvođenje zimskih ili dugotrajnih padavina kad je angažovano celo slivno područje usvojeni moduli odvodnjavanja su:

Za rit: $q_r = 1,0 \text{ l/s/ha}$

Za terasu: $q_t = 0,5 \text{ l/s/ha}$

Navedeni moduli odvodnjavanja odgovaraju evakuaciji zimskih voda u roku od 15 dana za 10 godišnje maksimalne padavine.

Odvodnu kanalsku mrežu predstavljaju otvoreni neobloženi kanali trapeznog poprečnog profila dimenzije prema hidrauličkom računu uz sledeće karakteristike:

- minimalna širina dna 0,50 m,
- minimalna dubina radnog nivoa vode ispod terena u depresijama 0,50 m,
- minimalna dubina kanala 1,00 m,
- nagib kosina kanala za dubinu od 1 do 2 m je 1:1,25 a za dubine od 2 do 3 m 1:1,50.

Koeficijent oticaja i hidromodul odvodnjavanja

U glavnom projektu odvodnjavanja Čuruško-Žabaljskog sliva iz 1966. godine, u svrhu određivanja koeficijenta oticaja i hidromodula odvodnjavanja, korišćene su formule autora Nemeta i Turazza. Ova metoda se ne pojavljuje u savremenoj literaturi, ali je činjenica da je ona svojevremeno korišćena prilikom analize slivova i projektovanja sistema za odvodnjavanje na području Vojvodine i Mađarske. U nastavku je predstavljen niz relacija koje su korišćene prilikom analize Čuruško-Žabaljskog sliva (Pantelić, 1966).

Polazna jednačina za proračun srednjeg hidromodula odvodnjavanja glasi:

$$q_s = 0,1157 \cdot \frac{\alpha \cdot h}{t + \tau}$$

Gde su: q_s – srednji hidromodul odvodnjavanja ($\text{l s}^{-1} \text{ha}^{-1}$), α – koeficijent oticaja, h – merodavna visina padavina (mm), t – trajanje merodavne kiše (dani), τ - vreme doticaja kišne kapi sa najudaljenije tačke sliva do recipijenta (dani).

Množenjem prethodne jednačine sa koeficijentom koji predstavlja odnos maksimalnog i srednjeg proticaja, i koji za Mađarske uslove iznosi 1,7 (primenjivo i za teritoriju Vojvodine), dobija se maksimalni jedinični hidromodul odvodnjavanja q_{\max} ($\text{l s}^{-1} \text{ha}^{-1}$):

$$q_{\max} = 0,1157 \cdot \frac{\alpha \cdot h}{t + \tau} \cdot 1,7$$

Koeficijent oticaja igra važnu ulogu u određivanju hidromodula odvodnjavanja. Njegovo određivanje zahteva poznavanje faktora, kao što su: propustljivost, nagib i način obrade zemljišta, kao i vrstu zemljišnog pokrivača. U glavnom projektu sistema za odvodnjavanje Čurug-Žabalj (Pantelić, 1966) se navodi da je funkcionalna promena koeficijenta oticaja po mesecima u funkciji:

- (1) pada terena (α_1);
- (2) propustljivosti zemljišta (α_2);
- (3) obraslosti zemljišta (α_3).

Za određivanje ovih parcijalnih koeficijenata oticaja, daju se vrednosti u Tabelama 7.1, 7.2 i 7.3, gde se za određeni sliv, definisan nagibom, propustljivošću i obraslošću terena nalaze odgovarajuće vrednosti. Koeficijent oticaja jednak je zbiru tri faktora:

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3$$

Tabela 7.1. *Parcijalni koeficijent oticaja u funkciji pada terena (α_1)*

Nagib terena	Koeficijent α_1
>35 %	0,22 – 0,25 – 0,30
11 – 35 %	0,12 – 0,18 – 0,20
3,5 – 11 %	0,06 – 0,08 – 0,10
<3,5 %	0,01 – 0,03 – 0,05

Tabela 7.2. *Parcijalni koeficijent oticaja u funkciji propustljivosti zemljišta (α_2)*

Propustljivost zemljišta	Koeficijent α_2
Vrlo nepropusno zemljište	0,22 – 0,26 – 0,30
Srednje propusno zemljište	0,12 – 0,16 – 0,20
Propusno zemljište	0,06 – 0,08 – 0,10
Vrlo propusno zemljište	0,03 – 0,04 – 0,05

Tabela 7.3. *Parcijalni koeficijent oticaja u funkciji obraslosti zemljišta (α_3)*

Obraslost zemljišta	Koeficijent α_3
Za neobraslo zemljište	0,22 – 0,26 – 0,30
Za rit i pašnjake	0,17 – 0,21 – 0,25
Za kultivisano zemljište	0,07 – 0,11 – 0,15
Za šume i zemljišta labave strukture (peskovi)	0,03 – 0,04 – 0,05

U svrhu određivanja parcijalnog koeficijenta α_2 , korišćena je Pedološka karta zemljišta Vojvodine (Živković et al., 1972). Koeficijent α_2 dobijen je na osnovu procentualne zastupljenosti različitih tipova zemljišta na ovom području i njihovih drenažnih karakteristika. U radu je, prema Miljkoviću (2005), izvršena podela zemljišta na drenažne klase, na osnovu prosečnih graničnih vrednosti njihovih vodnih konstanti i glavnih hemiskih parametara. Tako su zemljišta podeljena na pet drenažnih klasa, sledećih karakteristika:

- (1) I drenažna klasa – zemljišta koja su prirodno vrlo slabo drenirana, te su njihove površine visokog stepena ugroženosti od suvišnih voda;
- (2) II drenažna klasa – zemljišta koja su prirodno slabo drenirana, te su njihove površine srednjeg stepena ugroženosti od suvišnih voda;
- (3) III drenažna klasa – zemljišta koja su prirodno nedovoljno drenirana, te su njihove površine umerenog stepena ugroženosti od suvišnih voda;
- (4) IV drenažna klasa – teksturno lakša zemljišta, koja su prirodno umereno drenirana, te su njihove površine niskog stepena ugroženosti od suvišnih voda;
- (5) V drenažna klasa – teksturno laka zemljišta, koja su prirodno dobro drenirana, te njihove površine nisu ugrožene od suvišnih voda i ne zahtevaju odvodnjavanje.

Vrednost koeficijenta α_3 dobijena je analizom karte zemljišnog pokrivača CORINE Land Cover 2012 (EEA, 2012). Ova karta sadrži bazu sa podacima o korišćenju zemljišta i pripadajućim površinama. Podaci o zemljišnom pokrivaču, mogu se dobiti na osnovu koda iz baze podataka i korišćenjem CORINE nomenklature (Nestorov i

Protić, 2006). Analiza ovih prostornih podataka i izrada karata područja, izvršena je korišćenjem GIS alata.

Bilo da se radi o pojedinačnoj lokaciji ili širem području, određivanje visine efektivnih padavina, koje se koriste prilikom predviđanja poplavnih talasa, posebno u determinističkim metodama, mora biti zasnovano na trajanju padavina visokog intenziteta (olujne padavine) ili vremenu koncentracije sliva (Gericke and Plessis, 2011). Vreme koncentracije sliva (τ) je ključni vremenski parametar odziva sliva, potreban za predviđanje maksimalnih zapremina oticaja (Perdikaris et al., 2018). Vreme koncentracije sliva (τ) predstavlja vreme doticaja kišne kapi od najudaljenije tačke sliva do njegovog recipijenta, i ono je u Projektu (Pantelić, 1966) određeno jednačinom Venturija, gde je izraženo u funkciji površine sliva:

$$\tau = 0,315 \cdot \sqrt{F}$$

Gde je F – površina sliva u km^2 .

Merodavna visina padavina, dobijena je korišćenjem klimatske funkcije Montanarija, koja se izvodi za svako analizirano područje posebno, i glasi:

$$h = a \cdot t^n$$

Gde su: h – merodavna visina padavina (mm), a i n - konstante koje zavise od hidroloških svojstava analiziranog područja, dok t predstavlja trajanje padavina (dani).

Rajić i Josimov-Dunđerski (2009) navode da za područje Vojvodine važe vrednosti koeficijenata $a=64$ (što predstavlja prosečnu jednodnevnu maksimalnu visinu padavina za područje Vojvodine) i $n=0,415$, tada Montanarijeva funkcija dobija oblik:

$$h = 64 \cdot t^{0,415}$$

Na osnovu funkcije Montanarija i vremena koncentracije sliva (τ), formula za vreme trajanja merodavne kiše:

$$t = \frac{n}{1-n} \cdot \tau$$

U projektu (Pantelić, 1966), trajanje merodavne kiše je usvojeno na osnovu analize dijagrama padavina u vremenu t i doticaja kišne kapi u vremenu τ . Za jedan određeni sliv karakteristična su tri slučaja:

- (1) Vreme trajanja kiše jednako je vremenu doticaja ($t=\tau$);
- (2) Vreme trajanja kiše je veće od vremena doticaja ($t>\tau$);
- (3) Vreme trajanja kiše je manje od vremena doticaja ($t<\tau$).

Dalje se navodi da se maksimalni jedinični proticaj javlja u slučaju kada je trajanje merodavne kiše veće ili jednako od vremena doticaja kišne kapi sa najudaljenije tačke sliva, odnosno $t \geq \tau$. U projektu je nakon analize višednevnih uzastopnih padavina vegetacionog perioda, usvojeno da trajanje merodavne kiše bude $t=3$ dana. Ovu vrednost merodavne kiše su projektanti koristili prilikom daljeg proračuna hidromodula odvodnjavanja.

Određivanje koeficijenta oticaja i modula odvodnjavanja, korišćenjem empirijskih formula autora Nemeta i Turazza, izvršeno je na osnovu analize aktuelnih uslova koji vladaju na slivu. Najzahtevniji deo metode predstavlja što preciznije određivanje parcijalnih koeficijenata oticaja, koji su dati u funkciji pada terena (α_1), propustljivosti zemljišta (α_2) i obraslosti zemljišta (α_3).

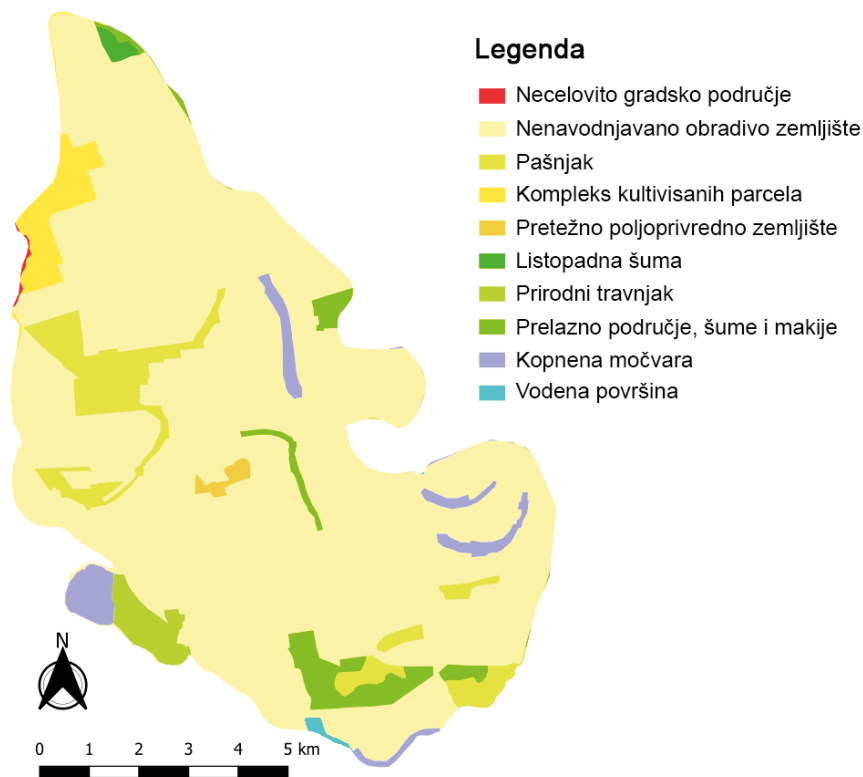
Analizom projektne dokumentacije, na osnovu podužnih profila Glavnog kanala, koji sve vode sa analiziranog sliva vodi do crpne stanice „Žabalj”, određen je srednji pad kanala, koji iznosi 0,011%. Na osnovu ove vrednosti i činjenice da je u pitanju izrazito ravničarsko područje, za koeficijent u funkciji pada terena, usvojena je minimalna vrednost iz Tabele 1, $\alpha_1=0,01$.

Parcijalni koeficijent u funkciji propustljivosti zemljišta (α_2), dobijen je na osnovu tipova zemljišta zastupljenih na ovom području i njihovih drenažnih karakteristika. Određivanje kompleksne vrednosti koeficijenta α_2 , predstavljeno je u Tabeli 7.4. Na osnovu procentualnog učešća različitih tipova zemljišta i dodeljivanih vrednosti iz Tabele 2, dobijena je vrednost koeficijenta u funkciji propustljivosti zemljišta koja važi za ceo sliv i iznosi $\alpha_2=0,22$.

Tabela 7.4. Proračun parcijalnog koeficijenta u funkciji propustljivosti zemljišta (α_2)

Tip zemljišta	Udeo (%)	Drenažna klasa	α_2	Kompleksna vrednost koeficijenta α_2
Aluvijalno zemljište na ritskoj crnici	25,45	II	0,16	0,04072
Aluvijalno peskovito zemljište	3,74	III	0,08	0,00299
Aluvijalno zaslanjeno zemljište	4,98	II	0,16	0,00797
Ritska crnica karbonatna zaslanjena	0,46	I	0,26	0,00119
Ritska smonica	38,92	I	0,26	0,10119
Ritska smonica zaslanjena i alkalizovana	1,30	I	0,26	0,00339
Livadska crnica karbonatna na lesnoj terasi	0,01	IV	0,04	0,00000
Ritska crnica beskarbonatna	13,73	I	0,26	0,03569
Černozem solonjecasti	0,85	III	0,08	0,00068
Solonjec	0,22	I	0,26	0,00058
Černozem beskarbonatni	0,72	IV	0,04	0,00029
Černozem sa znacima oglejavanja u lesu	0,22	IV	0,04	0,00009
Močvarno glejno zemljište	9,38	I	0,26	0,02439
Solončak	0,01	I	0,26	0,00003
Černozem karbonatni (micelarni) na lesnoj terasi	0,02	V	0,05	0,00001
$\Sigma=$	100			0,21921

Parcijalni koeficijent u funkciji obraslosti zemljišta (α_3), dobijen je analizom CORINE Land Cover 2012 baze podataka, koja sadrži informacije o nameni i karakteristikama zemljišnog pokrivača. Zastupljenost površina različite namene i vrste zemljišnog pokrivača predstavljena je na Slici 7.4.



Slika 7.4. Karta CORINE Land Cover 2012 - namena i karakteristike zemljišnog pokrivača
Čuruško Žabaljskog sliva

Analiza podataka o nameni i karakteristikama zemljišnog pokrivača pokazuje da je na području podsistema Žabalj najzastupljenije nenavodnjavano obradivo zemljište sa udelom od preko 85%. Zastupljenost ostalih tipova površina i određivanje kompleksne vrednosti koeficijenta α_3 prikazano je u Tabeli 5. Usvojena vrednost koeficijenta u funkciji obraslosti zemljišta, koja važi za ceo sliv iznosi $\alpha_3=0,11$. Ukupni koeficijent oticaja analiziranog područja, koji iznosi $\alpha=0,34$. Ova vrednost koeficijenta oticaja je manja u odnosu na onu usvojenu projektom iz 1966. godine, koja je za tadašnje uslove iznosila $\alpha=0,43$.

Tabela 7.5. Proračun parcijalnog koeficijenta u funkciji obraslosti zemljišta (α_3)

Opis površine	Udeo (%)	α_3	Kompleksna vrednost koeficijenta α_3
Necelovito gradsko područje	0,09	0,30	0,00026
Nenavodnjavano obradivo zemljište	85,26	0,11	0,09379
Pašnjak	5,50	0,21	0,01154
Kompleks kultivisanih parcela	0,11	0,11	0,00013
Pretežno poljoprivredno zemljište sa većim područjima prirodne vegetacije	0,41	0,11	0,00046
Listopadna šuma	0,66	0,04	0,00026
Prirodni travnjak	1,54	0,21	0,00323
Prelazno područje, šume i makije	3,36	0,04	0,00134
Kopnena močvara	2,78	0	0
Vodena površina	0,28	0	0
$\Sigma=$	100		0,11102

Izračunato je vreme koncentracije sliva (τ) koje iznosi 3,06 dana.

Sledeći pretpostavku da se maksimalni jedinični proticaj javlja u slučaju kada je trajanje merodavne kiše veće ili jednako od vremena koncentracije sliva, odnosno $t \geq \tau$, u daljem proračunu je usvojeno da je $t = \tau$, odnosno $t = 3,06$ dana.

Na osnovu funkcije Montanarija, i koeficijenata koji važe za područje Vojvodine, izračunata je merodavna visina padavina, koja iznosi $h = 101$ mm. Zatim, izračunat je i hidromodul odvodnjavanja, koji oslikava aktuelno stanje na slivu:

$$q_{\max} = 0,1157 \cdot \frac{0,34 \cdot 101}{3,06 + 3,06} \cdot 1,7 = 1,1 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$$

Uporedni prikaz dobijenih novih vrednosti sa vrednostima usvojenim u projektu odvodnjavanja Čuruško-Žabaljskog sliva (Pantelić, 1966) prikazan je u Tabeli 7.6. Dobijeni rezultati pokazuju da je hidromodul odvodnjavanja od $q_{\max} = 1,1 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$, koji predstavlja aktuelno stanje na slivu, veoma blizak modulu usvojenom u projektu, koji je iznosio $q_{\max} = 1,0 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$.

Tabela 7.6. *Uporedni prikaz vrednosti iz projekta i dobijenih novih vrednosti*

Parametar	Vrednosti iz projekta (Pantelić, 1966)	Nove vrednosti	Jedinica
a_1	0,01	0,01	-
a_2	0,25	0,22	-
a_3	0,17	0,11	-
a	0,43	0,34	-
t	3	3,06	dani
τ	3,06	3,06	dani
h	71,6	101	mm
q_{\max}	1,0	1,1	$\text{l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$

Dobijeni rezultati pokazuju da je hidromodul odvodnjavanja, koji oslikava aktuelno stanje na slivu veoma blizak onome usvojenom u projektu. U takvoj situaciji, brojke govore da sistem svojim kapacitetom zadovoljava i u sadašnjim uslovima na slivu. Rešenje problema viškova vode, koji ostaju na slivu i posle predviđenih rokova za evakuaciju, treba tražiti u redovnom održavanju melioracionih kanala i primeni dodatnih meliorativnih mera. Kako je na zemljištima „težeg” mehaničkog sastava otežano proceđivanje vode, u takvim situacijama treba razmotriti primenu horizontalne cevne drenaže ili biodrenaže (Vranešević et al., 2017). Uzimajući u obzir kompleksnost odvodnjavanja ČuruškoŽabaljskog sliva, uz postojeću infrastrukturu i sprovođenje mera u cilju unapređenja stanja sliva u meliorativnom smislu, može se očekivati maksimalna iskorišćenost poljoprivrednog potencijala ovog područja.

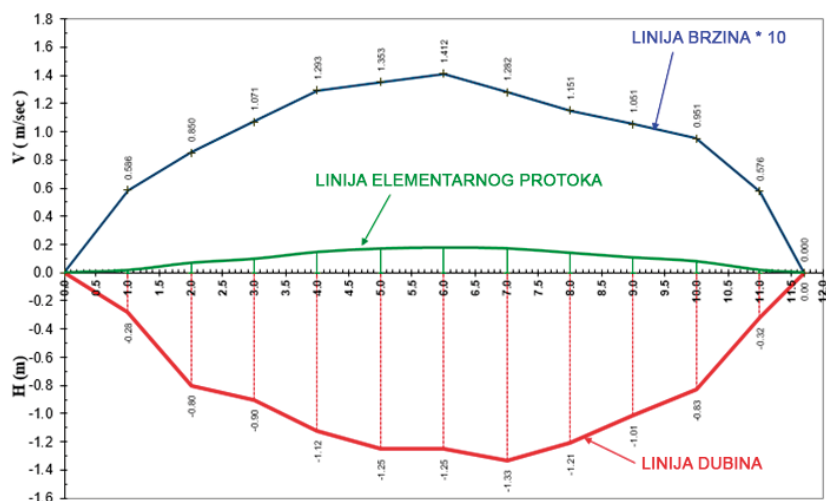
Hidrometrijska merenja i hidrauličko modeliranje

U cilju ispitivanja uslova rada sistema za odvodnjavanje u maju mesecu 2019. godine izvršeno je hidrometrijsko snimanje kanala na tri profila, na stacionažama km 1+550, 3+700 i 6+100 km (Slika 7.5)

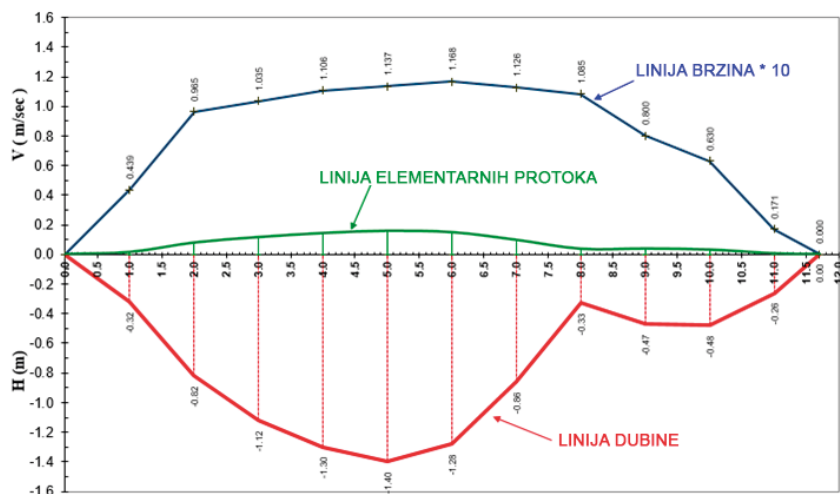


Slika 7.5. Lokacija mernih profila hidrometrijskih merenja

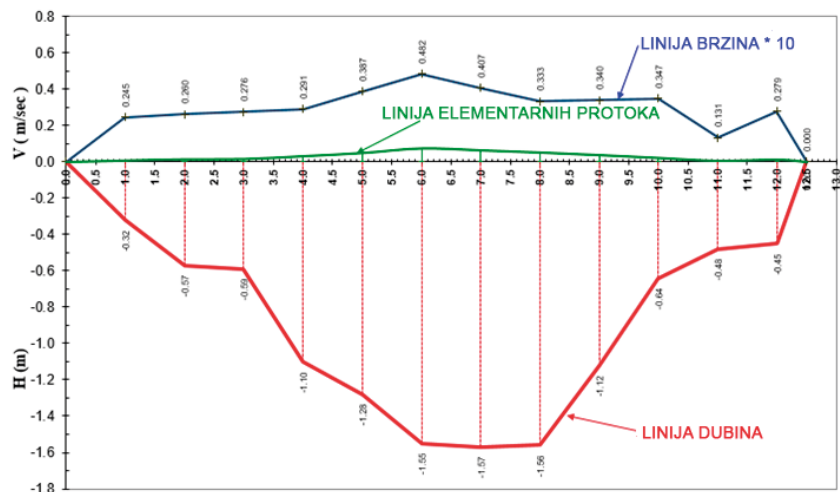
Snimanje profilskih brzina je vršeno standardnom hidrometrijskom metodom koristeći uređaj OTT Nautilus C2000. Ovaj savremeni hidrometrijski pribor, kod koga se merenje proticaja vrši elektromagnetnim poljem, prilagođen je prisutnim uslovima „vrlo sporog“ tečenja vode brzinama 0,00-2,50 m/s i najmanjoj dubini vode od 3 cm. Hidrauličke karakteristike glavnog Čuruško-Žabaljskog kanala dobijene su metodom brzina-površina. Rezultati su prikazani na slikama 7.6-7.8 i tabeli 7.7 i 7.8.



Slika 7.6. Grafički prikaz rezultata hidrometrijskih merenja, stacionaža 1+550 Km



Slika 7.7. Grafički prikaz rezultata hidrometrijskih merenja, stacionaža 3+700 Km



Slika 7.8. Grafički prikaz rezultata hidrometrijskih merenja, stacionaža 6+100 Km

Tabela 7.7. Rezultati hidrometrijskih merenja i poređenje sa projektovanim vrednostima

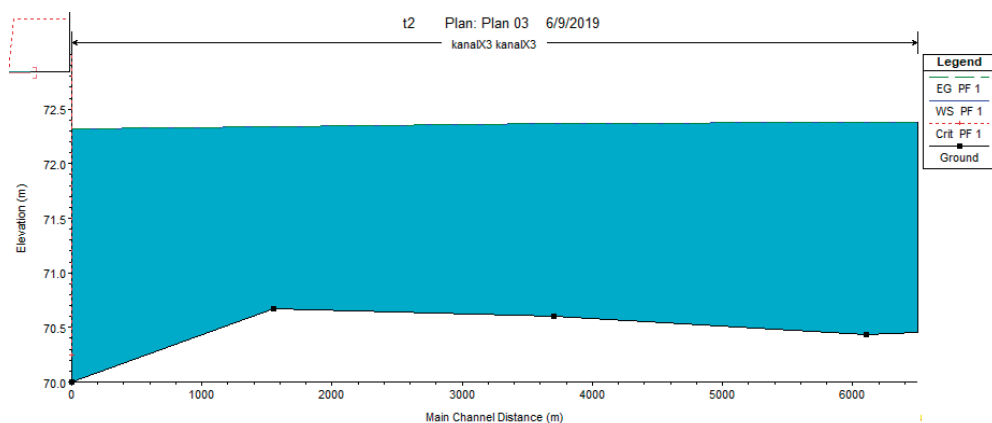
Stacionaža (km)	Protok (m ³ /s)		Brzina (m/s)	
	projektovano	izmereno	projektovano	izmereno
1+550	7,3	1,18	0,35	0,12
3+700	7,05	0,87	0,35	0,10
6+100	6,17	0,39	0,34	0,04

Tabela 7.8. Hidraulički elementi kanala na posmatranim profilima

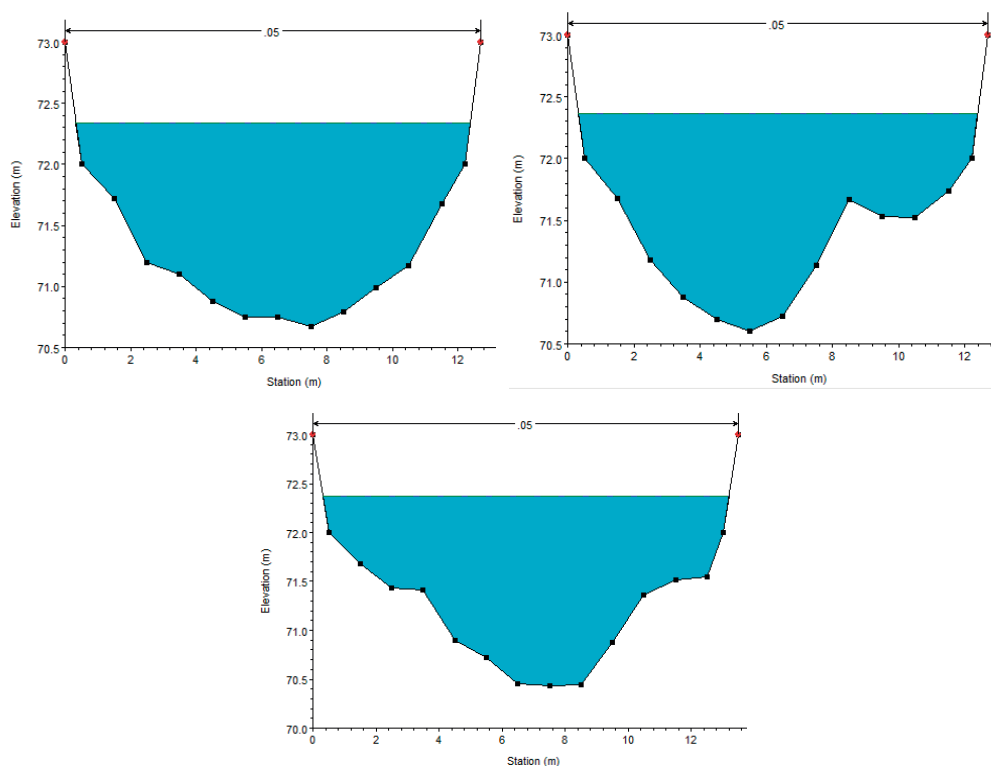
Stacionaža (km)	Živi presek (m ²)		Okvašeni obim (m)		Hidraulički radijus (m)	
	projektovano	izmereno	projektovano	izmereno	projektovano	izmereno
1+550	21,03	14,23	16,51	12,89	1,27	1,10
3+700	20,33	12,93	16,11	13,05	1,26	0,99
6+100	18,08	15,87	14,88	13,98	1,22	1,14

Rezultati hidrometrijskih merenja, koji su izvršeni na tri odabra profila glavnog kanala, ukazuju da su registrovane prosečne profilske brzine, kao i proticaji znatno ispod projektovanih vrednosti. Dobijeni rezultati ukazuju da se uzvodne deonice glavnog kanal koriste nešto slabijim intenzitetom od onih bliže pumpi. Takođe, geometrijske karakteristike kanala na posmatranim profilima, izraženi preko hidrauličkih elemenata ukazuju da je došlo do promena u geometrijskom obliku kanala u odnosu na projektovano stanje.

Na osnovu hidrometrijskih merenja kreiran je hidraulički model u programskom paketu HEC-RAS. Hidrauličkim proračunom utvrđeno je da su vrednosti hidrauličkih otpora tečenju u kanala, izraženi preko Manning-ovog koeficijenta hrapavosti n , više u odnosu na projektovano stanje. Izmerene vrednosti u proseku iznose $n = 0,05$ a projektovana vrednost iznosi 0,026. Rezultati, odnosno prikaz linije vodenog ogle- dala u glavnom kanalu su ilustrovani na slikama 7.9 i 7.10.



Slika 7.9. Podužni profili glavnog kanala od stacionaža 0+000 do 6+100 Km



Slika 7.10. Poprečni profile glavnog kanala na stacionažama 1+550, 3+700 i 6+100 Km

Rezultati ukazuju da je došlo do pogoršanja uslova tečenja vode u glavnom kanalu sistema za odvodnjavanje. Ovi rezultati su logični jer tokom eksploatacije sistema dolazi do taloženja mulja usled erozionih procesa i konstantnog bujanja akvatične vegetacije. Dosadašnja praksa na sistemima za odvodnjavanje je pokazala da je neophodno da se svakih 5 godina radi revitalizacija kanalske mreže u cilju održavanja optimalnih uslova tečenja i efikasnog odvodnjavanja (Kolaković, 2003). Istraživanja u okviru IPA projekta „WATER@RISK” su pokazala da je neophodno sprovesti akcioni plan kojim bi se vršio monitoring stanja i funkcionisanja kanalske mreže sistema kao i rada crpne stanice, zatim vršila analiza hidroloških uslova na slivu (promena hidroloških parametara, hidrološkog režima i hidromodula odvodnjavanja), kao i hidrauličko modelovanje kojim bi se tačno i detaljno utvrdila funkcionalnost sistema i prema tom preduzele mere revitalizacije sistema za odvodnjavanje.

8. Funkcionisanje kanalskih sistema i višefunkcionalno upravljanje vodama – sliv potoka Dong

Zsuzsanna Nagy; Gergely Pálfi; Zsuzsanna Priváczkiné Hajdu;
Balázs Benyhe

Uvod

Zbog prirodnog geografskog položaja Mađarske skoro jedna četvrtina površine zemlje je nizijska, gde se voda prirodnim putem ne može dopremiti. Većina ovih površina se trenutno nalazi pod poljoprivrednom obradom. Interesantno je uporediti korišćenje zemljišta i veličinu unutrašnjim vodama pogođenih površina sa situacijom iz 19. veka, perioda pre regulacije reka zbog zaštite od poplava. Usled neprekidnih uticaja razvoja ljudskih delatnosti 1940-ih godina vode su plavile oko 600.000 hektara zemlje (Pálfi, 2004), nakon čega je usledio period odvodnjavanja unutrašnjih površina. Zahvaljujući tome smanjene su površine koje su plavljene unutrašnjim vodama. Pošto je briga o vodama postala sve ređa, a u mnogim mestima je to potpuno izostala, pojava unutrašnjih voda je postala ponovo veoma spektakularna.

Dugotrajnost pojave unutrašnjih voda, njihova prostorna rasprostranjenost i brojnost čini osnove brojnih konflikata u korišćenju zemljišta a u vezi upravljanja vodama. Postavlja se pitanje koliko dugo i uolikoj meri se može primeniti jedno tehničko rešenje kao reakcija na neko veće plavljenje (Kozák, 2006), odnosno koje drugo rešenje se može naći za nastalu situaciju.

Ovaj rad predstavlja pokušaj da sa više aspekata predstavi one principe, ona razmišljanja, pomoću kojih se može naći odgovor na gornje pitanje.

Nastajanje i merenje unutrašnjih voda

Prema mađarskoj literaturi razlikujemo različite vrste unutrašnjih voda (Török 1997, Pálfi 2001; Pásztor et al. 2006; Kozák 2003, 2006; Barta et al 2013). Ono što je karakteristično za sve vrste jeste da puni vodom lokalne depresije, i da ta voda nestaje samo u slučaju odgovarajućih vremenskih prilika, karakteristike zemljišta i ljudskih intervencija. Razlikujemo sledeće vrste:

- Horizontalne ili akumulativne unutrašnje vode – nastaju uglavnom zbog pada vina, ali topografija i razni faktori u vezi zemljišta mogu igrati važnu ulogu (Rakonczai et al. 2014a; Benyhe 2013, 2015; Barta et al. 2016).

- Vertikalne unutrašnje vode ili unutrašnje vode zbog izbijanja vode iz zemlje – situacija kada nivo podzemnih voda postaje viši od površine zemlje.
- Unutrašnje vode u nizu ili unutrašnje vode tipa „Vagaš“. Ova vrsta plavljenja nastaje gde postoje crpne stanice ili nasipi, pošto neadekvatno funkcionišu, odnosno kanali i/ili pumpe nemaju dovoljan kapacitet.

U nastavku ćemo prikazati opšti pristup koji se primenjuje u niziji pri analizi unutrašnjih voda:

- Opis veličine posmatranih unutrašnjih voda. Uglavnom se zasniva na posetama sa ciljem istraživanja, mapama detekcije, fotografijama, vazдушnim snimcima, itd. (Liciskó et al., 1987; Rakonczai et al., 2001; van Leeuwen et al., 2017).
- Mape ranjivosti, koje se uglavnom zasnivaju na GIS-u, uzimajući u obzir topografske, zemljišne faktore i faktore korišćenja zemljišta (Pálfai, 2004; Pásztor et al., 2014; Bozán et al., 2018). Njihova razmera je najčešće regionalna ili nacionalna.
- Tehnike daljinske detekcije, koje koriste podatke daljinske detekcije velike rezolucije, kao što su spektralni i hiperspektralni snimci, radarski podaci, satelitske informacije, itd. (Csornai et al., 2000; Rakonczai et al., 2001; Mucsi and Henits, 2010; Csendes and Mucsi, 2016). Ova metoda je pogodna za grupisanje vrsta unutrašnjih voda (van Leeuwen et al., 2013).
- Kompleksni, opipljivi modeli za modeliranje onih hidroloških procesa koji dovode do pojave unutrašnjih voda (Kozma, 2013; Leeuwen et al. 2016).

Područje modela

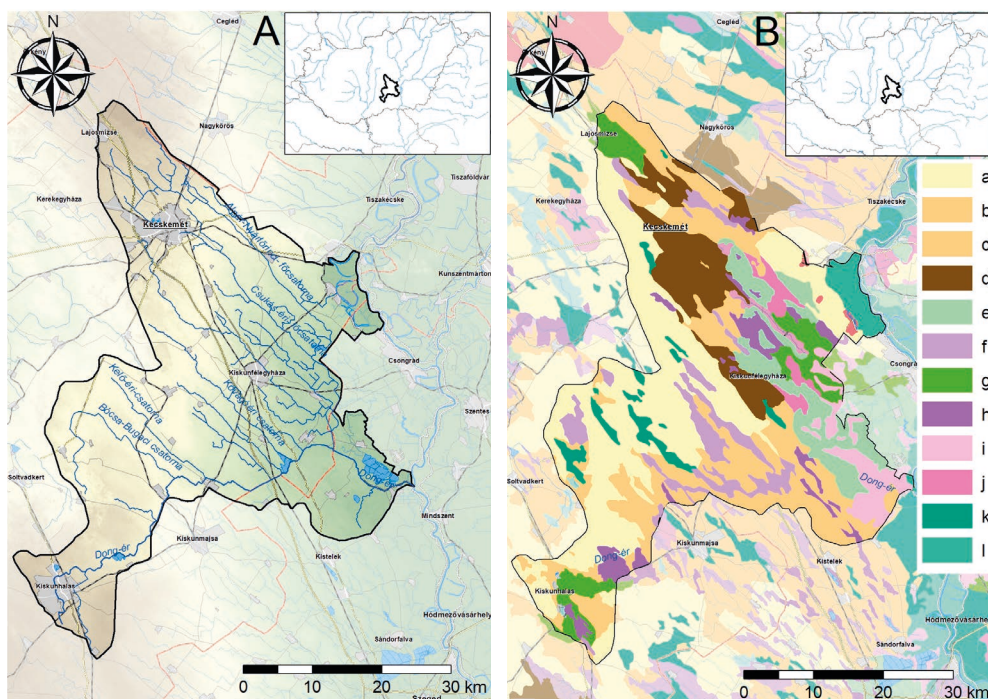
Posmatrano područje je sliv potoka Dong, koji se nalazi između Dunava i Tise, a delom u dolini Donje Tise (slika 8.1/a). Glavni vodotok je kanal potoka Dong, koji vodu transportuje prema reci Tisi kao recipijentu. Sliv se može podeliti na dva dela, na peščani greben koji leži na većoj visini, i na ranije plavno područje pored Tise.

Površinu područja su formirale promene kvartara. Dominiraju površinski oblici koje su formirali reke (Dunav) i vetrovi. Vetar i dalje stvara razne peščane oblike koji u skladu sa pravcem vladajućih vetrova imaju severozapadni smer i prekrivaju ranije lesne i vetrovima formirane peščane površine. Uz dolinu Tise dominantan je černo-zem iznad slojeva lesa koji su pokriveni finim peskom.

Klima posmatranog područja je umerena ili topla, suva. Godišnja prosečna temperatura varira između 10,2 i 10,7°C. Godišnja količina padavina je između 520 i 570 mm, ali u ekstremnim slučajevima je ispod 400 mm. Na osnovu onih sušnih perioda, koji su se već dešavali na osnovu Palfijevih merila, spada u izuzetno sušna, odnosno veoma sušna područja.

Sistem potoka Dong sastoji se iz dva veća podsistema; (1) sistem unutrašnjih voda Dong-Kečkemmet (905 km²) i Dong-Halaš (1011 km²). Na tom području niska je

srazmera upotrebe površinskih voda, pošto ima malo padavina i prisutno je oticanje, pa je dominantna upotreba podzemnih resursa. Vertikalna donja granica akumulacija se može povući kod prvog vodonepropusnog sloja računajući od površine, a to je na prosečnoj dubini od 20-30 metara. Prema raspoloživim agrotopografskim mapama područje je heterogeno. Najkarakterističnije vrste zemljišta su peskovita tla, peskovito tlo sa humusom, vetrovima nošen pesak, černoziem i slatinasto tlo (slika 8.1/b). Zbog heterogenih terenskih i zemljišnih uslova i u velikoj meri zahvaljujući veštačkoj odvodnoj mreži unutrašnje vode mogu pokrenuti nepredvidive procese.



Slika 8.1. Topografski uslovi i kanalska mreža na području sliva potoka Dong (A) i vrste tla (B)

Analiza nastajanja unutrašnjih voda

Analiza poplava – analiza bazena bez oticanja

U ovoj prethodnoj analizi pomoću GIS tehnika identifikovali smo područja koja su sklona poplavama, primenom modela digitalne elevacije, koji se skoncentriše na depresije ili područja bez oticanja. Očekivani rezultat analize su takve plavne mape koje prikazuju veličinu poplavljenih površina, dubinu voda, količinu nagomilanih voda u depresijama, kao i mrežu strujanja. Rezultati modela zavise isključivo od modela terena. Druge faktore nismo uzeli u obzir. Površine izračunate na osnovu modela će nastati ako voda može slobodno da se kreće po površini, nema proceđivanja, a površina ne sprečava oticanje voda. U stvarnosti ovakve okolnosti nastaju samo kod zasićenih zemljišta, ili eventualno smrznutog tla, naročito u zimskom periodu.

Vršili smo analize na padavine od 10, 30, 60 i 100 mm. Poplavljene površine možete videti na priloženim mapama, odnosno i donja tabela sadrži podatke o njihovim dimenzijama i količinama. Na mapi se nalaze i jezera sa manje-više stalnom vodnom površinom – kao poplavljena područja, ali njihove dimenzije i količine su odbijene prilikom proračuna.

Ova prethodna analiza može pružiti korisne informacije u toku kalibracije modela površinskog oticanja.

MIKE SHE analiza – akumulacija unutrašnjih voda

Izrada modela unutrašnjih voda je težak i složen zadatak. Radi adekvatnog prikazivanja hidrološkog procesa primenjeni model mora uzeti u obzir sledeće: (1) padavine, (2) oticanje, (3) isparavanje, (4) evapotranspiracija, (5) proceđivanje, (6) kretanje vode u zasićenoj i nezasićenoj zoni, (7) kretanje vode u kanalima i (8) akumulacija vode na površini. Važno je da su ovi procesi međusobno povezani i utiču jedni na druge. Pored toga pri praktičnim aktivnostima i u toku intervencija treba uzeti u obzir više stvari, stoga treba ceniti integrisani pristup problemu. Pošto ispunjava ove uslove, odabrali smo softver za integrisano modeliranje sliva „MIKE SHE“, koji nudi izvanredan kvalitet i brza rešenja za kompleksne procese kretanja i akumulacije voda.

Cilj MIKE SHE analize je da stvori kalibrisani model koji je pogodan za zadovoljavanje potreba u planiranju operacija i donošenju odluka i u ekstremnim hidrološkim uslovima.

U prvom koraku treba izvršiti analizu svih input podataka i obaviti prethodnu obradu radi određivanja glavnih parametara kalibracije. U slučaju sliva potoka Dong nedostajali su mnogi inputi, pa smo se skoncentrisali na period za koje smo imali na raspolaganju merene vrednosti. Odabrali smo proleće 2015. i 2018., pošto smo za ove periode imali mape poplava i podatke o nivou podzemnih voda.

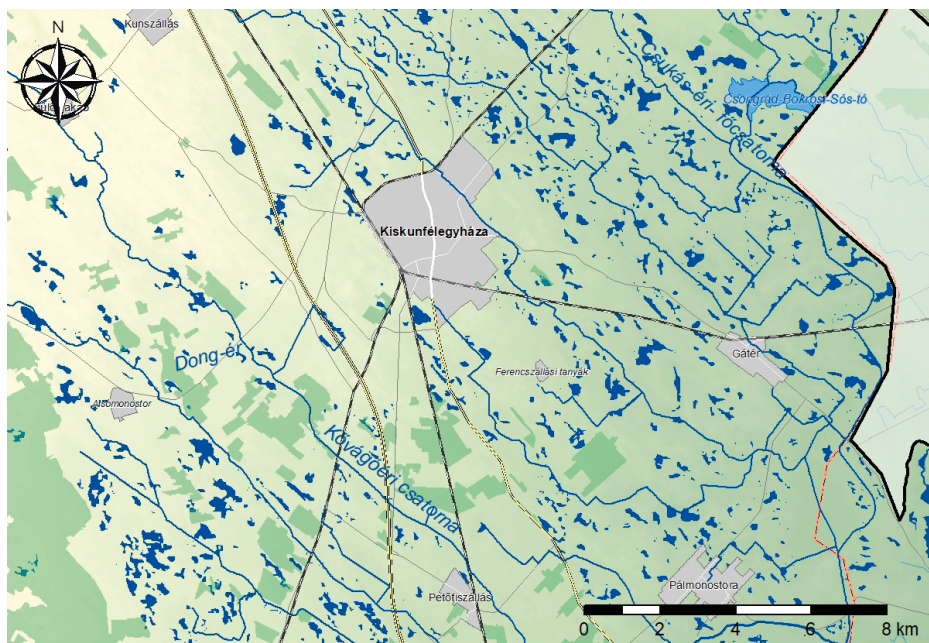
Rezultati

Veličina i količina unutrašnjih voda

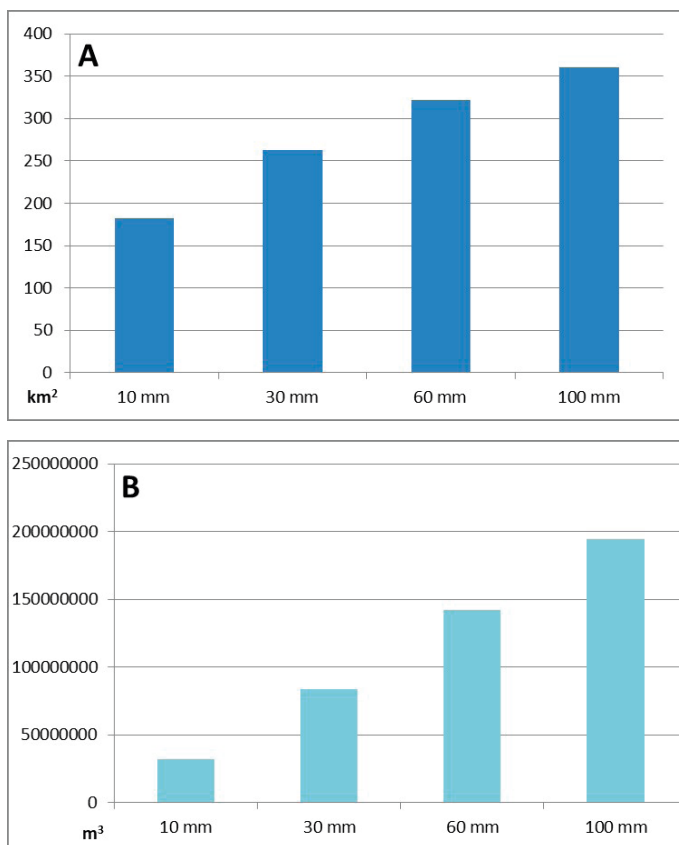
Rezultati ove analize određuju veličinu i količinu bazena bez oticanja. Izvršili smo uporednu validaciju pomoću postojećih mapa unutrašnjih voda, označavajući mesta koja stalno plave vode (slika 8.2.). U toku validacije se ispostavilo, da nema značajnijih poplavljenih područja niz toka sliva, bez obzira na to što je topografija pokazivala da ima područja gde nema oticanja. Treba uzeti u obzir da proceđivanje i kretanje podzemnih voda igra veliku ulogu u regiji peščanog grebena i da je samo od sekundarnog značaja uticaj topografskih karakteristika.

Pažnje vredna je činjenica da najveći broj područja sa mogućim unutrašnjim vodama nalazi se na izvesnoj udaljenosti od svih kanala, a istovremeno iskustva govore o tome, da oticanje može sprečiti naplavak u kanalima (Kiss i Benyhe 2015). Na žalost taj uticaj nismo uspjeli identifikovati u rezultatima zbog slabog kvaliteta terenskog modela.

Pretpostavljajući uslove sa zasićenim tлом, kada ne može biti proceđivanja, već se može akumulirati i normalna količina kiše, prouzrokujući unutrašnje vode na površini od 183 km² (9,5%) u slivu na osnovu rezultata simulacije. Računajući sa većim količinama padavina vidi se da i u slučaju padavina od 100 mm na svega 360 km² se stvaraju unutrašnje vode, a to je 18% sliva (slika 8.3.). Veza između količina i padavina je još manja, jer bazen bez oticanja nije u stanju primiti dalje količine voda, što ukazuje na to, koliko su ograničene površine raspoložive za akumulaciju.



Slika 8.2. Razmeštaj poplavljenih bazena bez oticanja vode sa simulacijom padavina od 30 mm



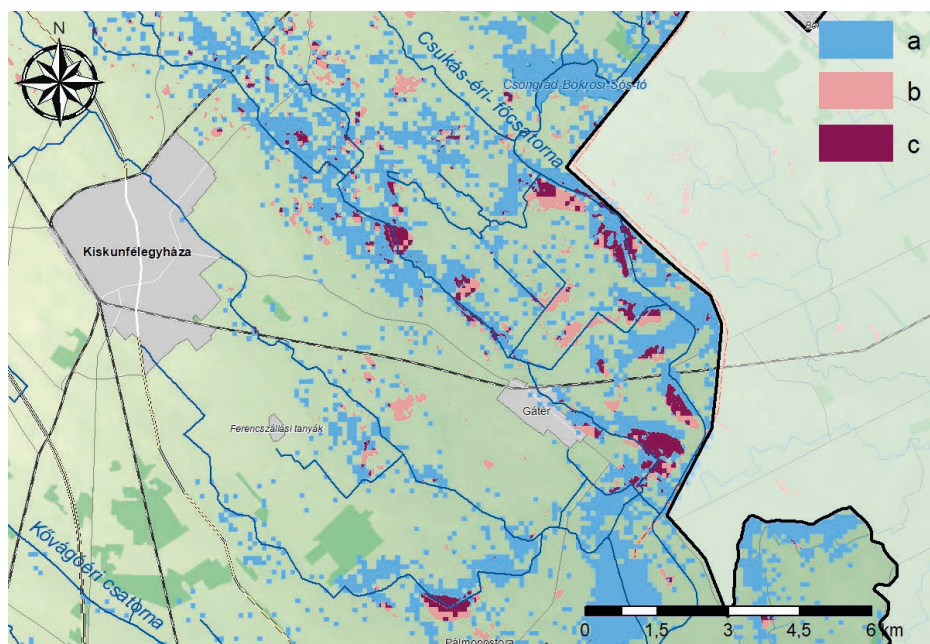
Slika 8.3. Celokupna površina pod unutrašnjim vodama (A) na slivu potoka Dong, na osnovu bazena bez oticanja za različite količine padavina

Integrirani hidrološki model sliva potoka Dong

Cilj razvijenog MIKE SHE modela je bio da pruži podršku praktičnim aktivnostima u vezi upravljanja unutrašnjim vodama, akumulacijom voda, kontrole vodoprivrednih objekata, održavanja kanala i drugih zadataka upravljanja vodama u sistemu unutrašnjih voda potocića Dong. Pošto hidrološki procesi u međusobnoj vezi čine kompleksni sistem, stručnjaci mogu koristiti mogućnosti koje pruža model, a koji je u stanju integrisati sve povezane pojave i dinamički prati promene vodne ravnoteže u kanalima i u čitavom slivu.

Zbog ograničenih hardverskih resursa moralo se skratiti period modeliranja (2010-2018), pa je došlo do analize kraćih perioda. U slučaju 2018. vidi se da je model rezultirao velikim površinama pod unutrašnjim vodama u istočnom delu sliva (slika 8.4.). Kod površina sa unutrašnjim vodama po modelu validaciju smo obavili pomoću onih mapa, koje su izradili kolege sa Univerziteta u Segedinu (SZTE).

Vidi se da je model preцениo i broj i veličinu površina sa unutrašnjim vodama. Na rezultujućim mapama vide se unutrašnje vode na oko 132 km², ali validacijom je dokazano, da u datom periodu (između 25. marta 2018. i 1. aprila 2018.) samo manji deo površina bilo pokriveno unutrašnjim vodama. Mapa unutrašnjih voda pokazuje površine sa viškovima vode uz kanala za odvodnjavanje, nagoveštavajući da se stvaraju unutrašnje vode tipa „Vagaš“. Zbog nedostataka kapaciteta kanala uz donji tok područja mogu biti izložena pojavi viška vode koje nadolaze sa gornjeg toka, što može plaviti okolna područja ukoliko nivo voda pređe nivo nasipa koji su izgrađeni uz kanale.



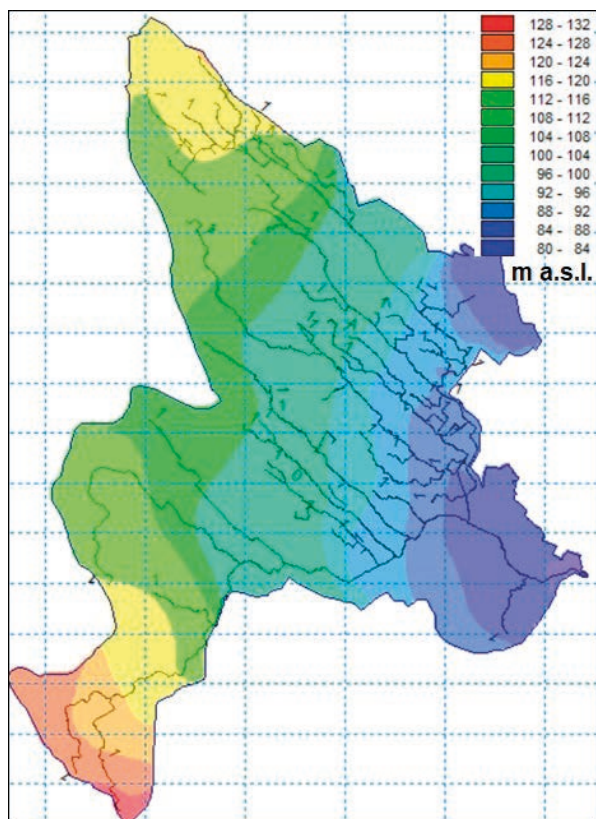
Slika 8.4. Površine unutrašnjih voda prema modelu MIKE SHE (a), upoređeni sa površinama na mapama unutrašnjih voda SZTE (b) i površinama unutrašnjih voda sa validacijom (c)

Pošto nema stalnog monitoringa uz kanale koji se nalaze u slivu potoka Dong, kalibracija površinskih vodotokova nije bila moguća u slučaju skorije vreme nastalih situacija. U periodima zaštite od unutrašnjih voda obavljaju se merenja nivoa vode i pražnjenja, ali ti podaci su samo letimični, pa se ne mogu upoređivati sa rezultatima modela, koje variraju zbog numeričke nestabilnosti.

Bez obzira na to nivo podzemnih voda i nagibe uspeli smo kalibrisati sa vremenskim nizovima postojećih monitoring bunara za kontrolu. Modelirani nivoi unutrašnjih voda su na obećavajući način pružali posmatrane kontrolne vrednosti i nivo greške povećanja nivoa vode zasićene zone bio je ispod 0,5 m, što je veoma dobar rezultat, imajući u vidu slab kvalitet i malobrojne input podatke o podzemnim vodama koje smo imali na raspolaganju. Pošto je vodna ravnoteža podpovršinskih voda na neki način povezana sa kalibrisanim vrednostima, da se pretpostavi da je do prećenjivanja poplavljenih površina u modelu došlo zbog netačnih procena

evapotranspiracije. Nažalost i sama evapotranspiracija se zasniva na nekim faktorima (npr. upotreba zemljišta, vrsta poljoprivrednih kultura, struktura tla, itd.), koji nemaju dovoljnu mogućnost kalibracije.

Proračunati nivo vodonosnog sloja usko prati topografiju (slika 8.5.), s dobro primetnim nagibom u pravci doline Tise. Za svaki period smo obavili proračun vrednosti povećanja nivoa vode, pa korisnik dobije aktuelne količine akumulisane vode i vrednosti podpovršinskog strujanja. Pošto strujanje vode ispod površine ima veliki uticaj, jer puni odvodne kanale i u depresijama dolazi na površinu, ovi rezultati modela se mogu procenjivati radi izrade mapa, kao i za analizu kapaciteta odnosno izvora vode.



Slika 8.5. Mapa proračunatog povećanja nivoa vode u zasićenoj zoni

Razmatranje rezultata modela

Zbog nedostajućih odnosno nedovoljno svežih input podataka rezultate modela MIKE SHE možemo i trebamo poboljšati. Na postignutom nivou kalibracije pristup modelu je pokazao njegove potencijale. Pošto MIKE SHE koristi detaljne metode na fizičkim osnovama, svaka važna pojava se može modelirati i količinski proračunati.

MIKE SHE može biti koristan alat za simulaciju stvaranja unutrašnjih voda u prošlosti, za proširenje izmerenih podataka na čitavo područje sliva i za ocenu različitih terenskih merenja (npr. izmene u načinu korišćenja zemljišta, projektovanju kanala novijih tipova, itd.).

Pošto nismo mogli koristiti stanicu za površinski monitoring i validaciju površinskih vodotokova, za osveženje modela još uvek su potrebni input podaci za postupke kalibracije i validacije. Taj nedostatak će eliminisati postavljanje dve nove stanice za praćenje pražnjenja, koji će biti izgrađeni na donjem, odnosno srednjem toku kanala potoka Dong. Ti uređaju će vodoprivrednim organima obezbediti informacije od suštinske važnosti o nivou vode i o vrednostima pražnjenja.

Treba poboljšati kvalitet i drugih ulaznih parametara od ključne važnosti da bi se mogao razviti tačan model unutrašnjih voda. To su uglavnom topografske mape i mape o biljnom pokrivaču zemljišta, koje se nažalost retko ažuriraju; pored toga bilo je problema i sa bazom podataka o kontroli vodoprivrednih objekata, koji takođe moraju ažurirati vodoprivredni organi. Pored neodgovarajuće vremenske raspodele raspoložive vrednosti mogu biti osporavani. Ti parametri (kao npr. LAI, dubina korena, vrednosti hidraulične konduktivnosti) se ne mogu validirati, stoga dobijaju ulogu kao vrednosti kalibracije.

Pri analizi pojave unutrašnjih voda obavezni su glavni izmereni podaci kalibracije. Pored toga prisutna je nesigurnost u slučaju mnogih parametara što otežava proces kalibracije, a jedan od najvećih izazova predstavlja raspoloživost hardverskih i humanih resursa. Izrada modela na fizičkim osnovama može biti dobar alat za izbor najosetljivijih parametara pomažući time razne grane u sferi upravljanja vodama kako bi se mogli skoncentrisati na najvažnije naučne i operativne razvojne zadatke.

Program upravljanja vodama

Cilj programa upravljanja vodama je da u okviru projekta Water at Risk analizira situaciju upravljanja vodama na području koje je obrađeno kompleksnim numeričkim modelom za gazdovanje vodama, odnosno, da sačini predloge koji se primenom razrađenog modela mogu implementirati u svakodnevnu praksu upravljanja vodama.

Faktori koji utiču na nastajanje i odvođenje unutrašnjih voda

Površina je rascepkana, usled deflacije i visinskih razlika nalaze se paralelne doline sa usmerenjem Z-JI. Objekti za odvođenje unutrašnjih voda mahom su izgrađeni u dubinama spomenutih dolina, ali nisu retke pojave područja bez oticanja koja su zaglavljena na grebenima između dve doline.

Prirodni nagibi omogućavaju odvođenje većih količina voda. Protivno ovim tehničkim mogućnostima deluje činjenica što su ovi kanali česti i recipijenti otpadnih

voda okolnih naselja, pa razmnožavanje vodenih biljaka, organske materije, odnosno nataloženi mulj dovodi do smanjenja sposobnosti odvođenja voda.

Predeo je pun neplodnim slatinastim parcelama. Na južnom delu sektora zaštite od unutrašnjih voda, u uvalama potoka Kevago, Galamboš i Senkut stvoren je sloj površinskog tufa s mestimičnom debljinom od 20-30 cm. Taj sloj mestimično ulazi u presek kanala, čime sprečava izgradnju zemljanog korita i objekata kanala. Ispod tog krečnjaka nalazi se tečni pesak koji je pod pritiskom vode, a mestimično prisustvo tufa i podzemnih voda pod pritiskom mogu postati faktori za povećanje unutrašnjih voda.

Deo sistema unutrašnjih voda potoka Dong i Halaš pod br. 34. uz reku Tisa je uglavnom duboko plavljeno područje. Karakteristično za reljef tog područja jeste da je ispresecan starim rečnim koritima s prosečnim nagibom 1 m/km.

Oko 50% površine čine oranice sa znatnim udeom poljana, pašnjaka (30%). Na ovom prostoru se nalaze velika prostranstva zaštićene prirode koje mogu uticati na ritam odvođenja voda. Ukupna površina zaštićenih zemljišta iznosi 55.614 ha, a pod Ex lege zaštitom nalazi se 530,6 ha.

Tehničke i demografske karakteristike sistema unutrašnjih voda

Izgrađeni kapacitet specifičnog dotoka kanala

Na slivu potoka Čukaš 21,35 l/s/km², u slivu glavnog kanala Alpar-Njarlerinc specifična izgrađenost odvođenja iznosi 23,25 l/s/km² ne računajući akumulaciju. U uvalama potoka Dong specifična izgrađenost je sledeća: uvale potoka Dong: 16,7 l/s/km², uvale Bidešeka: 9,6 l/s/km², uvala Boča-Bugac: 8,4 l/s/km², uvala Tazlar: 41,9 l/s/km², uvala Alšosalaš: 43,1 l/s/km². Specifična izgrađenost sistema unutrašnjih vode potoka Dong sa brojem 34. iznosi 18,6 l/s/km².

Indeks rizika od unutrašnjih voda i podaci o plavljenju

Zbog svojstava zemljišta najveći rizik od unutrašnjih voda je karakterističan za duboka zemljišta na plavljenim površinama. Na osnovu indeksa rizika od unutrašnjih voda (Palfai) više od polovine ukupnog zemljišta je ugroženo unutrašnjim vodama (Tabela 8.1.). U sistemima unutrašnjih voda u periodu između 1966. i 2018. registrovana plavljenja unutrašnjim vodama u uvali br. 33 za zaštitu od unutrašnjih voda iznosila su 50.000-87.000 ha, a u sistemi br. 34. 6.500-7.500 ha. U drugim periodima unutrašnjih voda plavljenjem je pogođeno u proseku od 3.000 do 5.000 ha (Tabela 8.2.).

Tabela 8.1. Pregled ugroženosti unutrašnjim vodama u slivu potoka Dong

Palfai ugroženosti unutrašnjim vodama	oblast [km ²]	proporcija [%]
niska hazard	715,3	36,2
umerena hazard	1082,8	54,8
srednja hazard	146,2	7,4
velika hazard	31,6	1,6

Tabela 8.2. Veličina poplavljenih površina u slivu potoka Dong

Godina	33. sz. Dongér-Kecskeméti	34. sz. Dongér-Halasi i 36. sz. Percsora-Sövényházi
	plavljenim površina (ha)	plavljenim površina (ha)
1966	87000	3933
1970	50000	n.a.
1975	72000	4089
1999	n.a.	6900
2000	4600	6500
2006	n.a.	3550
2010	3450	7500
2011	3650	7500
2013	n.a.	4400
2014	1550	n.a.
2015	2500	5100
2016	1950	2250
2018	3050	n.a.

Demografija

U sistemu unutrašnjih voda br. 33 / potoka Dong – Kečkemet/ i br. 34. / potoka Dong – Halaš/ nalazi se 21 naselje, ukupan broj stanovnika se procenjuje na oko 210. 000 lica. 53% stanovnika živi u gradu Kečkemetu.

Prioriteti, propisi u vezi odvođenja voda i zaštite od unutrašnjih voda

U današnjem pravnom okruženju u osnovi 3 propisa reguliše način odbrane od šteta koje prouzrokuju vode:

- 1995. Zakon o upravljanju vodama broj LVII iz 1995.
- Uredba Vlade 232/1996 (26. XII) o pravilima odbrane od štetnih uticaja voda

- Uredba KHVM /Ministarstva saobraćaja, telekomunikacija i vodoprivrede/ br. 10/1997 (17. VII) *o odbrani od poplava i unutrašnjih voda*
- Zakon broj CXXVIII iz 2011. o zaštiti od katastrofa i o izmenama pojedinih povezanih zakona

Zakon u upravljanju vodama detaljno reguliše zadatke državnih organa i lokalnih samouprava u vezi upravljanja vodama, kao i zadatke privatnih vlasnika, pa tako i zadatke u vezi otklanjanja vodnih šteta i odbrane od unutrašnjih voda. U vezi odbrane od vodnih šteta propisuje regulisanje, organizaciju, upravljanje i kontrolu delatnosti na otklanjanju vodnih šteta, kao i odbranu koja nadmašuje lokalne javne obaveze.

Sprovođenje odbrane od vodnih šteta reguliše Uredba Vlade 232/1996. i Uredba KHVM /ministarstva/ 10/1997., kriterije za određivanje pojedinih nivoa odbrane od unutrašnjih voda, operativne zadatke za pojedine nivoe odbrane, zadatke i ovlašćenja obveznika u odbrani, sadržaj planova odbrane, zatim regulisanje odvodnjavanja, akumulacije unutrašnjih voda i zadržavanja vode.

Upravljanje vodama, otklanjanja šteta od voda, odbrana od unutrašnjih voda u našoj zemlji odvija se pod upravljanjem države. Poslove rukovođenja na nivou zemlje obavlja ministar odgovoran za upravljanje vodama. Zadaci odbrane – izgradnja, razvoj, održavanje objekata odbrane, kao i sama odbrana – predstavljaju zajedničke obaveze državnih organa, lokalnih samouprava i drugih zainteresovanih organizacija i pojedinaca. Državne zadatke u vezi otklanjanja šteta od voda obavljaju vodoprivredne direkcije. Zadatak direkcija je stvaranje sklada aktivnosti na održavanju, funkcionisanju, rekonstrukciji i razvoju vodnih objekata u vlasništvu države, lokalnih samouprava i fizičkih lica.

Centralno-gransko upravljanje vodoprivredom od 2012. godine je odgovornost Ministarstva unutrašnjih poslova, i spada u delatnost zamenika državnog sekretarijata odgovornog za javno zapošljavanje i vodoprivredu. Centralne operativne zadatke države obavlja Glavni zemaljski direktorat vodoprivrede. Ministar i Vlada za rukovođenje tehničkim zadacima u odbrani od poplava i unutrašnjih voda formira Zemaljsko upravljačko telo (OMIT), putem koje upravlja tim poslovima. (Privácckiné i Muhoray 2018.)

U slučaju opasnosti treba postupati shodno odredbama zakona o zaštiti od katastrofa¹. U slučaju vanredne situacije zbog unutrašnjih voda proglašenje opasnosti može inicirati direktor vodoprivrede putem OMIT-a, odnosno gradonačelnik, predsednik HVB /lokalni štab odbrane/ i MVB2 /županijski štab odbrane/ putem BM OKF3. (Privácckiné et al. 2019.)

1 Zakon broj CXXVIII iz 2011. godine o zaštiti od katastrofa i o izmenama nekih povezanih zakona, izmenjen 2012.

2 MVB: Županijski štab odbrane, HVB: Lokalni štab odbrane

3 BM OKF: Ministarstvo unutrašnjih poslova, Glavni direktorat za zaštitu od katastrofa

Praksa upravljanja vodama na osnovu važećih propisa i pravila funkcionisanja

Površina sistema unutrašnjih voda na posmatranom području je uglavnom na visoravni, njegov reljef je određen mestom na peščanom grebenu između Dunava i Tise. Nagib pada ide u pravcu jugoistok, dubokom plavnom području tise odnosno prema dolini Tise. Zahvaljujući svom nagibu, vode iz sistema unutrašnjih voda putem kanala za odvođenje unutrašnjih koji su izgrađeni u pravce severozapada-jugoistoka gravitacijom se mogu odvoditi u recipijente, glavne recipijente.

Pomoću ustava se može regulisati oticanje unutrašnjih voda. Zadržavanje voda treba rešiti pomoću određenih akumulacija, privremenih akumulacija, odnosno na manje vrednim poljoprivrednim zemljištima, sem ako budu ugrožene značajne vrednosti.

Glavni recipijent unutrašnjih voda je glavni kanal potočića Dong, koji sakupljenu vodu vodi u reku Tisa. Gravitaciono odvođenje prestaje samo pri nastajanju veoma ekstremnog (merodavnog) talasa plavljenja na Tisi. U ovom slučaju nadolazeće vode se mogu voditi dalje postavljanjem provizorne crpne stanice kod ustave „Benedek” na glavnom kanalu kod tačke 1+004 km. Zadržavanje plavnih talasa trenutno obavlja ustava „Benedek” (U okviru investicije teče ugradnja ustave.)

Uz glavni kanal potoka Dong postoji mogućnost zadržavanja značajnih količina unutrašnjih voda. Kod tačke 22+243 km se nalazi Ustava Peteri jezera, kojom se može regulisati nivo vode na gornjem toku. Unutrašnje vode se kroz ustavu mogu odvoditi u jezero Peteri. Prostor za akumulaciju unutrašnjih voda treba obezbediti između 20. oktobra i 28. februara. Između tačaka glavnog kanala 58+600 – 60+240 km se nalazi jezero Harka sa obavezom akumulacije 1,5 miliona m³ unutrašnjih voda. Za potrebe zaštite od unutrašnjih voda ATIVIZIG u bilo koje vreme može naložiti delimično ili potpuno pražnjenje ovih jezera.

Jedan od najznačajnijih sporednih kanala na glavnom kanalu potoka Dong je glavni kanal potoka Čukaš. Ovim kanalom uz unutrašnje vode otiču i prečišćene otpadne vode. Za regulisanje vode u sopstvenom koritu ima malo mogućnosti. Zadržavanje vode je moguće na prelivnom objektu koji se nalazi u gornjem delu na tački 40+946 km za bujičnu akumulaciju. U donjim sektorima zbog velikog nagiba ne postoji mogućnost zadržavanja vode, stoga je u periodima unutrašnjih voda neophodno je zadržavanje voda iz sporednih kanala.

Iz glavnog kanala potoka Čukaš na tački 6+343 km se odvaja povezni kanal potoka Gat i jezera Feher, koji ima za cilj prevođenje vode iz glavnog kanala Feledhaza u maks. količinama od 1 m³/s u glavni kanal potoka Čukaš, a ujedno je i recipijent kanala potoka Gat i kanala Temerkenji.

Holt Tisa /rukavac Tise/ kod Alpara je recipijent za vode iz glavnog kanala Alpar-Njarlerinc sve dok je rukavac u stanju da prima vode. Kada se na rukavcu zatvori ustava II zbog rasta vodostaja Tise, kroz ustavu glavnog kanala na tački 6+635 km, tzv. ustavu “Baloghalom” mogu se prevesti unutrašnje vode u skladu sa ograničenim kapacitetom rukavca za prijem voda, i na taj način se sprečava plavljenje rukavca. U tim slučajevima kroz povezni kanal potoka Čukaš-Njarlerinc gravitacionim

putem se u glavni kanal potoka Čukaš može dovesti 2 m³/s vode. Kapacitet rukavca je zbog nemogućnosti oticanja vode iznosi maks. 4,0 miliona m³. Na glavnom kanalu Alpar-Njarlerinc do tačke 8+800 km je moguće zadržavanje vode na poljanama i pašnjacima uz glavni kanal.

Predlog za izmene prakse u upravljanju vodama

Korišćenjem raspoloživih kapaciteta numeričkog modeliranja (uzimajući u obzir nastale prioritete u rešavanju plavljenja unutrašnjim vodama, odnosno uključivanje područja pogodnih za zadržavanje voda) na osnovu sledećih razmišljanja se može predložiti preobražaj upravljanja vodama (Kozák 2013, 2016):

- budućim merama treba poboljšati sigurnost naselja i nastanjenih područja od unutrašnjih voda.
- Za usporavanje procesa sakupljanja voda treba se truditi za primenu zatvaranja oticanja prvenstveno u uvalama na višim delovima.
- Zadržavanje voda celishodno bi bilo rešiti uz kanale na područjima sa odgovarajućim morfološkim svojstvima i načinom korišćenja zemljišta.
- U toku izbora površina za zadržavanje voda celishodno bi bilo odabrati one površine koje ne dovode do povećanja rizika na unutrašnjim površinama i to odabirom terena koji su izuzeti iz poljoprivredne obrade, ili su poljane i pašnjaci.
- Od vlasnika treba pribaviti saglasnost za terene koji su pogodni za zadržavanje voda.
- Prilikom projektovanja zadržavanja voda treba izbegavati nastajanje većih dubina.
- Pri eksploataciji zadržanih količina vode treba uzeti u obzir da u letnjem periodu isparavanje može dostići i 10-15 mm na dan.
- Razvojem poveznog kanala potoka Gat i jezero Feher biće u stanju odvođenja većih količina (~3,1 m³/s) voda, čime će se smanjiti rizik od unutrašnjih voda.

Instead of a foreword

“This study could not have been produced without...” – a frequent and compulsory set of words in project documents, followed usually by the name of an institute, sponsor or research program which provided funding for the work. However, the person behind is rarely acknowledged. The person who delivers the project idea, who adheres the partnership through never-ending negotiations, who motivates successfully numerous colleagues to work together in an international environment and to utilise scientific results for solving real life problems. The person who coordinates project implementation from the start till the end, participates on each meeting and event, if needed leads the discussion or gives a presentation, but if needed stays in the background and gives space for younger colleagues, and through the joint work lays down the fundamentals of a new project by the way. The person without whom not only this project and its closing document but many others could not have been realised at all.

Gábor Mezősi, Professor of the Department of Physical Geography and Geoinformatics, University of Szeged is a Person of that kind. Over his more than 40 year long career in education, research and science management he has also undertaken a key role in the organisation and implementation of countless national and international projects. Such way he successfully developed project based collaboration among others with several departments of the University of Novi Sad and Voda Vojvodina, and meanwhile also deepened cooperation with the Lower Tisza Water Directorate by bringing new scientific contents to the joint work. This book, opening again new opportunities for further cooperation, is a clear manifestation of his constant and devoted efforts, for which we would like to express our deepest gratitude.

Thank you!

The Project Team



1. Introduction

Viktória Blanka; Zsuzsanna Ladányi; Gábor Mezősi; János Rakonczai

One of the most important environmental problems nowadays is climate change, the negative effects of which have an impact on the whole planet. In the last 100 years the average temperature of the Earth increased by $+0.7^{\circ}\text{C}$ and undesirable changes occurred also in case of precipitation, as long periods without rainfall and extreme precipitation events became more frequent in large parts of the temperate zones on both hemispheres (OMSZ 2019). The climate change has a considerable impact on the lowland areas of southeast Hungary (Csongrád and Bács-Kiskun counties) and Vojvodina, including the study area (Fig 1.). Due to the climate change and the natural geographic conditions, the water supply of the region is showing extreme variation, the area suffers from both drought (Fiala et al. 2014) and inland excess water (Bozán et al. 2013) – these can take turns, and occur in consecutive years or even in the same year. This is the reason why the research and geographical observation of the problems related to climate change and hydrological extremes is very important in the region, which started decades ago (Kovács 2007, Ladányi et al. 2011a, Rakonczai 2011).

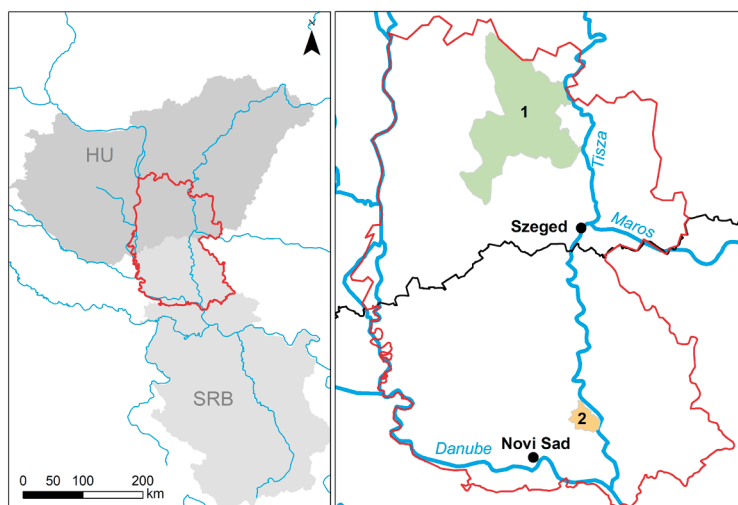


Figure 1.1 Location of the study area

The majority of this area is lowland, where the mean annual temperature is around 11°C and the annual precipitation is 500-600 mm. The highest mean temperature occurs in July, typically between 21°C and 23°C , while the rainfall is around 300 mm in the summer half of the year (Smailagic et al. 2013, OMSZ 2019). Examining the climate change trends of the last decades reveals that the temperature has been rising and the precipitation level has been slightly decreasing (Blanka et al. 2013; Spinoni

et al. 2013), resulting in a 20-30 mm yearly precipitation shortage in the area. It was also observed that the frequency of extreme weather conditions' occurrence has also changed. Years drier than the average have become more frequent, and the distribution of the rainfall is turning less and less favourable, as beside the long dry periods, extreme precipitation events occur especially in the summer causing an increase in the runoff proportion of the valuable water resources (Mezősi et al. 2016).

In the examined area the most important rivers are the Danube, the Tisza/Tisa River, the Maros River, and the Tamis River; besides these, most of the surface waterflows are artificial canals (Fig 2). Parallel to the changes in the climate, the spatial and temporal variability of the surface water volumes were also observed (Kiss and Blanka 2012, Sipos 2006). This not only generates a growing flood (e.g. on the Danube in 2013) and inland excess water hazard, but also longer periods of water shortage that contribute to a growing economic, social and environmental problem for the study area. In general it can be stated that the annual water balance of the region shows a negative trend, as regards both surface and ground waters. In a large part of the year the surface runoff is insignificant, which greatly contributes to the climate sensitivity of the area, and to the growing water stress that is likely to occur in the future.

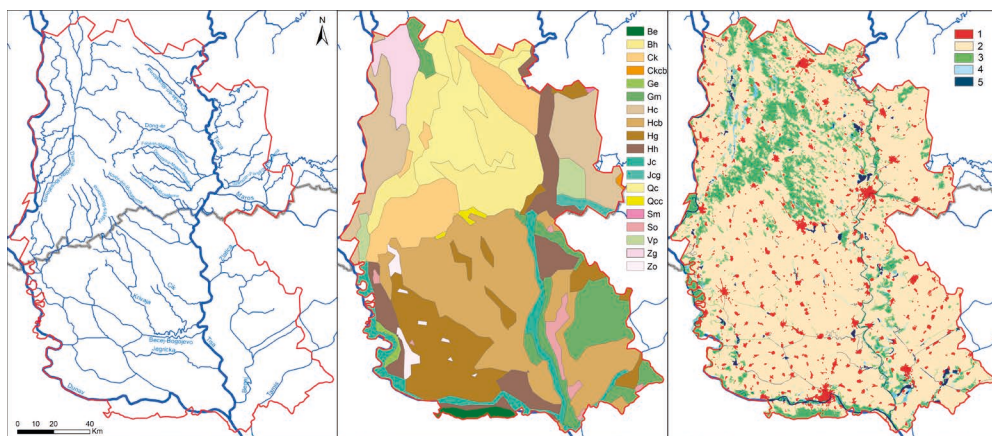


Figure 1.2 Waterflows, soil types (FAO 19895) (Be: Eutric Cambisol, Bh: Humic Cambisol, Ck: Calcic Chernozem; Ckcb: Vermi-Calcaro-Calcic Chern.; Ge: Eutric Gleysol, Gm: Mollic Gleysol ; Hc: Calcaric Phaeozem; Hcb: Vermi-Calcaric Phaeozem, Hg: Gleyic Phaeozem; Hh: Haplic Phaeozem;; Jc: Calcaric Fluvisol; Jcg: Gleyo-Calcaric Fluvisol; Qc: Cambic Arenosol; Qcc: Calcaro-Cambic Arenosol; Sm: Mollic Solonetz; So: Orthic Solonetz; Vp: Pellic Vertisol; Zg Gleyic Solonchak; Zo Orthic Solonchak) and land use (Corine 2018) (1: Artificial surfaces; 2: Agricultural areas; 3: Forests and semi natural areas; 4: Water bodies; 5: Wetlands) of the study area

The study area is diverse in terms of soil type, physical properties and soil moisture regime of the soils (Fig 2b). Chernozem soil and its different variations dominate the area; their crumbly structure, resulting from the advantageous soil formation processes ensures good water and nutrient management conditions for agricultural production. Sandy soils (blown sand, humic sandy soils and chernozem-type sandy

soils) can also be found in considerable proportions; these soils having unfavourable moisture regime due to huge water infiltration and weak water-holding capacity. Meadow soils are also common in the region, which have medium or weak infiltration and good water-holding capacity.

The land cover and land use of the area is dominated by agricultural lands (Fig 2c). In the last 200 years large areas of land became used for farming purposes, therefore the proportion of agricultural land is high, and the natural vegetation remained only in relatively small areas. Even in these areas, where the natural vegetation survived, unfavourable processes can be observed, because the climate change of the last few decades and human activities resulted in natural wetland habitats starting to dry out, and this process is accompanied by the degradation and transformation of the vegetation (Rakonczai et al. 2014).

Extreme water balance situations cause serious socio-economic and environmental damages, and they also generate major water management conflicts. In the periods of inland access water inundations, the drainage practices of excess water generate conflicts, in both populated areas and outside of towns and villages, while in the drought periods the limited availability of water and water use practices cause problems. Several problems are related to the irrigation of agricultural land, because in spite of the relatively dense canal network – in the present conditions – these canals are hardly suitable for irrigation purposes. Due to the lack of surface waters that can be used for irrigation, at the time of dry periods/droughts farmers use water from underground resources, which just makes the problem of decreasing groundwater resources worse, which are already decreasing because of the climate change. Another problem is that water retention and the utilisation of waste water produced in the area is still at an initial phase, therefore the water resources that are generated aren't utilised adequately (Rakonczai et al. 2014).

Mitigating the negative effects of drought and inland excess water, and managing land use and water resource related problems are among the most important complex environmental problems to be solved in the region. Effective management requires collecting accurate and timely information that describes the current water balance situations and a better understanding and quantification of negative effects and risks, which can provide fundamental information for planning efficient interventions. It is essential to implement the planning of water management in a (small) catchment level, and it is also important to ensure the efficient cooperation of the stakeholders in both planning and implementation.

The project that provides the background for this book and the presented developments seek to contribute to managing the problems introduced, and to planning water resource management more efficiently: by developing regional monitoring methods and collecting information to observe the formation of drought and inland excess water (chapters 2, 3 and 4), by evaluating the risks and the damages caused (chapters 5 and 6), and by reconsidering the operational management of the canal network, based on much more detailed and accurate data than before. For developing improvement ideas for the operational management of the canals, detailed examinations were performed in two pilot areas, the catchments of Curug-Zabalj (Serbia, chapter 7) and Dong-ér (Hungary, chapter 8) (Fig 1).

2. High precision mapping and monitoring of inland excess water inundations

Zalán Tobak; Boudewijn van Leeuwen; Ferenc Kovács; József Szatmári

Introduction

In rainy periods, in endorheic areas excess water that does not disappear through infiltration or evapotranspiration, or upwelling groundwater fed by run-off from under the surface from areas located higher, manifests on the surface in the form of shallow inundations. This temporarily occurring inland excess water is the source of serious economic, environmental and social problems on the plains of the Carpathian Basin.

The mapping of inland excess waters is very important from 3 aspects: (1) it helps to understand the relationship between factors that contribute to the accumulation of inland excess water, (2) knowing the location and size of inland excess water inundations makes it possible to do operative work for drainage purposes and for preventing further damage, and (3) the location, size and scale of future inland excess water inundations can be forecasted, which can be of help in preventive processes (Szatmári and van Leeuwen, 2013).

Four general methods are used for mapping and monitoring inland excess water: (1) field survey takes a lot of time, there can be many mistakes, it costs a lot of money and the resulting maps are often inaccurate. (2) By integrating the factors that contribute to the accumulation of inland excess water into a geographic information system (GIS), hazard maps can be made, but the inundations that have already occurred can't be determined by using this method (Pálfai, 2003; Bozán et al., 2005; Bozán et al., 2009; Pásztor et al., 2014). (3) Complex models that describe the hydrological process of inland excess water formation require a large volume of data, therefore they can't be used effectively on a regional scale. (4) Data collected using satellite or remote sensing technology provide information about a large area, paired with processing and evaluation methods that can be automated, offering an optimal solution for the regional level, operational mapping of inland excess water. As part of utilising the latter approach, in the last 30 years several research projects were realised using aerial photography (Liczkó et al., 1987; Rakonczai et al., 2003; van Leeuwen et al., 2012), multispectral satellite images (Csornai et al., 2000; Rakonczai et al., 2001; Mucsi and Henits, 2010, van Leeuwen et al., 2013) and hyperspectral data (Csendes and Mucsi, 2016). In addition to passive, optical sensors, the applicability of active, radar data has also been proven (Csornai et al., 2000; Csekő, 2003; Gálya et al., 2016, Gulácsi and Kovács, 2019).

It was of great help in the operative use of satellite images that systems of Earth observation satellites had been built, with adequate spatial resolution (min. 10-30 m) and better revisit periods. Within the framework of the European Space Agency's (ESA) Copernicus programme, the Sentinel satellites launched from 2014 onwards serve the needs of various fields of application, for instance in the form of providing multispectral and radar images (Malenovský et al., 2012). The active sensors of the Sentinel 1A and 1B satellites provide radar data regardless of the weather conditions, while the Sentinel 2A and 2B satellites gather multispectral data 2-3 times a week.

The work process that was developed as part of the Water@Risk project utilises satellite images from Sentinel 1 and Sentinel 2 to produce regional scale inland excess water maps in an operative way, on a weekly basis.

Study area and data

The study area of the Water@Risk project was 2 counties in the south Great Plain (Bács-Kiskun and Csongrád) and the Vojvodina province in Serbia. Topographic conditions, the low relief, climate conditions and the soil characteristics in these areas all set the stage for the accumulation of inland excess waters. The majority of the area is cultivated agricultural land, which means that the size of the economic damage done is often considerable.

Three ascending swaths and 2 descending Sentinel 1 swaths, plus 9 Sentinel 2 tiles cover the full study area (Fig 2.1).

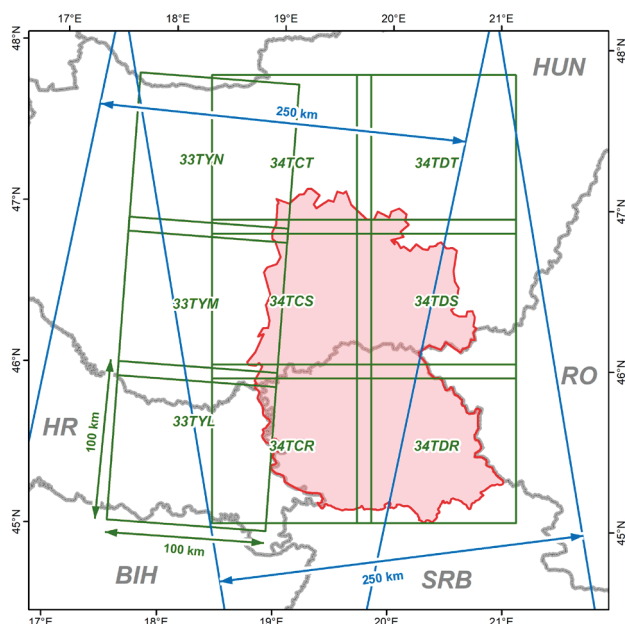


Figure 2.1 Sentinel 1 swaths (blue) and Sentinel 2 tiles (green) in the study area

The inland excess water maps are made using data from the Sentinel 1 and Sentinel 2 satellites.

Sentinel 1

The radar based processing phase uses Sentinel 1A and 1B images. These two satellites provide a full coverage of the sampling area approximately every third day, and thanks to the C-band active remote sensing technology, they do it regardless of part of the day or weather conditions. Level-1 GRD products can be downloaded freely from the ESA servers – these constitute the input data. In the so-called Interferometric Wide (IW) mode, the sensor produced a 20 x 10 m spatial resolution image with a 250 km swath of the surface (Malenovský et al., 2012). Data packages contain both the vertical-vertical (VV) and the vertical-horizontal (VH) polarisation layers, which were all utilised in the radar work process. In the present study we used Sentinel 1 data from the 26 March – 1 April 2018 period (week 13) and the 2 April – 8 April 2018 period (week 14) (Table 2.1).

Table 2.1: Summary parameters of the data utilised

Data source	Date (number of products)	Spatial resolution / Spatial coverage/ Scale	Spectral resolution/ Thematics
Sentinel 1			
Week 13	2018.03.28. (3)	20x10 m / 250 km width	C-band (5.405 GHz)
	2018.03.29. (5)		
	2018.03.30. (4)		
	2018.03.31. (3)		
Week14	2018.04.03. (2)		
	2018.04.04. (5)		
	2018.04.05. (2)		
	2018.04.06. (3)		
Sentinel 2			
Week 13	2018.03.28.	B2: 10m	B2: 492.4 / 492.1 nm B3: 559.8 / 559.0 nm B4: 664.6 / 664.9 nm B5: 704.1 / 703.8 nm B6: 740.5 / 739.1 nm B7: 782.8 / 779.7 nm B8: 832.8 / 832.9 nm B8A: 864.7 / 864.0 nm B11: 1613.7 / 1610.4 nm B12: 2202.4 / 2185.7 nm
	2018.03.31.	B3: 10m	
		B4: 10m	
		B5: 20m	
Week 14		B6: 20m	
		B7: 20m	
	2018.04.02.	B8: 10m	
	2018.04.03.	B8A: 20m	
	2018.04.05.	B11: 20m	
	2018.04.08.	B12: 20m	
		100x100 km tiles	

Data source	Date (number of products)	Spatial resolution / Spatial coverage/ Scale	Spectral resolution/ Thematics
Aerial photo	2018.03.28	10 cm / 20 km ²	True-color (RGB)
CORINE Land Cover	1998 / 2018	1:50000 / 1:100000	Water bodies / Wetlands / Artificial Surfaces
High Resolution Layers	2009-2015	20 m	permanent and temporary water and wetness
Google Earth (GeoEye / Pleiades)	2017-2018	0.41 / 0.5 m	True-color (RGB)
OpenStreetMap	various	-	Residential area, Road, Railway, Lake and reservoir

Sentinel 2

The Sentinel 2A and 2B satellites acquire multispectral images with a 5-day return period. In the visible (VIS), near infrared (NIR) and shortwave infrared (SWIR) ranges altogether 13 bands are available, the spatial resolution of which is 10-20-60 m (Table 1). Level-2A products can be downloaded freely from the ESA servers in the form of 100x100 km tiles, and these store surface reflectance values that are free from atmospheric disturbances. In the work processes that are based on optical data, we used ten swaths of this data package (B2-B3-B4-B5-B6-B7-B8-B8A-B11-B12), plus the so-called scene classification layer that contains cloud cover information too. As part of the present research, we processed images produced by Sentinel 2 on 28 and 31 March 2018 and on 2, 3, 5 and 8 April 2018 (Table 2.1).

Supplementary data

Both the radar and the optical image based workflows require supplementary data. These play a role in the teaching of algorithms as a reference, and they also make corrections in the resulting inland excess water map by masking those areas where inland excess water – per definition – can't occur. The open water surfaces that constitute the reference data set originate from the 1:50000 and 1:100000 scale CORINE Land Cover, and the permanent water surfaces (Büttner et al., 2014) of Pan-European high resolution layers (High Resolution Layers - HRS), which were updated and made more accurate with the help of high resolution images from Google Earth (Table 1). The mask data set contains urban areas, artificial surfaces of agricultural land, roads, railway lines, lakes and rivers – and the latter's floodplains marked off by the dikes – plus the watery habitats, which were extracted from the CORINE and OpenStreetMap databases. At the beginning of the processing, those areas were excluded which – based on the cloud mask layer – were covered by clouds or cloud shadows.

Aerial photos

We collected aerial remote sensing data for the validation of the results. We used sensors mounted on a Cessna 172 single-engine aircraft and on an eBee X fixed-wing drone: 60 MP resolution PhaseOne P65+, and 20 MP senseFly S.O.D.A. RGB cameras, plus a 1.2 MP resolution Parrot Sequoia+ multispectral sensor. Aerial photography was performed in a selected part of the full study area, North East of Szentes on approximately 20 km², on 28 March 2018, with a 10 cm spatial resolution. An orthophoto mosaics were made from the individual photos.

Methodology

The methodology of the inland excess water inundation mapping presented here consists of pre-processing and processing stages. In the latter there is a radar algorithm and two algorithms based on multispectral images, from the results of which a binary inland excess water map is created after an integration phase. Since the methodology can be automated, it can be used in an operational way, and although it doesn't classify different types of inland excess water into type categories, it can be used to provide inland excess water inundation information on a weekly basis, with medium spatial resolution (10 m).

Pre-processing

In the pre-processing stage OpenSearch API and OpenData API are used to automatically download Sentinel 1 GRD and Sentinel 2 L2A products for the study area from the ESA servers.

Sentinel 1 radar images require complex geometric and radiometric pre-processing, which involves radiometric calibration, noise filtering, correction of distortion resulting from surface topography and sideways-looking imaging geometry, plus the so-called angle of incidence must also be corrected (van Leeuwen et al. 2017). The 10x10 m pixels of the raster data sets acquired this way store the backscattering values in dB.

Sentinel 2 optical data are downloaded partly pre-processed (Level2A), storing surface reflectance. From the 13 imaging bands, 10 bands are extracted and resampled into standard 10 m resolution. In each satellite image we masked the areas covered by different types of clouds and cloud shadows. We utilised the scene classification layer for this, which was contained in the downloaded data package.

In the case of both data sources, we narrowed down processing for those areas only that are at the risk of inland excess water accumulation (Pálfai, 2003).

The pre-processing of satellite images was done using the ESA SNAP (Sentinel Application Platform) software, by means of running models.

Processing

Threshold value based evaluation of radar data

Using the reference layer showing open water surfaces, we extracted the basic statistical data of water covered land areas (minimum, maximum, average and standard deviations of dB values) from the VV and VH swaths. By utilising these, we defined threshold values that designate open waters. As the backscattering of radar signals from the water surface – with the assumption that there are no waves – is lower than from other surfaces, the method presumes that there is water cover in the images at pixels below the threshold value.

Automatic classification of multispectral data

ISODATA classification was performed on the Sentinel 2 images, the resulting classes were compared with the average spectra of the reference areas. Spectral similarity was calculated based on the angle differences measured in the 10 dimensional spaces marked out by the 10 imaging bands (Kruse et al., 1993); then we ranked the classes and those that showed the smallest deviation – the ones where the similarity level was the largest – and assigned water cover labels. In this case again, the result was a binary (water cover / no water cover) inland excess water map.

Spectral index calculation

Using the multispectral images, MNDWI (Modified Normalized Differential Water Index) was calculated, for which the visible green (B3) and a shortwave infrared (B11) bands were utilised (Equations 1 and 2) (Xu, 2005). We defined threshold values on the index map, with the help of the basic statistical data of the index values calculated for the reference areas, which were suitable for designating the areas covered with water. The result of this work phase was also a binary inland excess water map.

$$MNDWI = \frac{\rho_{green} - \rho_{SWIR}}{\rho_{green} + \rho_{SWIR}} \quad (\text{Eq. 1})$$

which, by using the bands of Sentinel 2, develops as follows:

$$MNDWI_{\text{Sentinel-2}} = (3^{\text{rd}} \text{ swath} - 11^{\text{th}} \text{ swath}) / (3^{\text{rd}} \text{ swath} + 11^{\text{th}} \text{ swath}) \quad (\text{Eq. 2})$$

Integration

In the last step we integrated the binary maps resulting from the radar phase and the multispectral work phase. The number of these maps is determined by the number of satellite images available and processable in the examined period of time.

This way a reliability parameter can also be assigned to the integrated inland excess water inundation maps, defining the proportion of water cover in a given image, based on all the available input data and on the processing work phase.

Validation

For the validation of the inland excess water inundation maps we utilised the inland excess water patches extracted from the aerial data collection. In the nearly 20 km² area we used the cross-tabulation method to evaluate the relationship between the on-site observed water cover and the water cover predicted by the processing series of steps.

Results

Inland excess water maps

In the spring of 2018 there was significant inland excess water inundation in the sampling area. Here, the inland excess water maps for 2 selected weeks (week 13: 29 March – 1 April 2018, week 14: 2 April – 8 April 2018) will be presented, generated based on the images transmitted by the Sentinel satellites (Figure 2). During week 13 altogether 42 (15+27), during week 14 exactly 33 (12+21) products were processed.

In order to increase the reliability of the results, only those images were considered to be indicative of water cover, in which the processing algorithms detected a minimum 40% percent inland excess water inundation water rate.

In the whole area 17,800 ha and 10,990 ha water cover was detected. The most affected parts were the northwest of Bács-Kiskun county – where mostly natural watery habitats were detected – and the areas along the river Tisza, in both Hungary and Serbia, where mainly the cultivation of arable land was threatened by inland excess water inundations. As regards the time, it can be observed that the size of inundated areas decreased a little by week 14 (Fig 2.2).

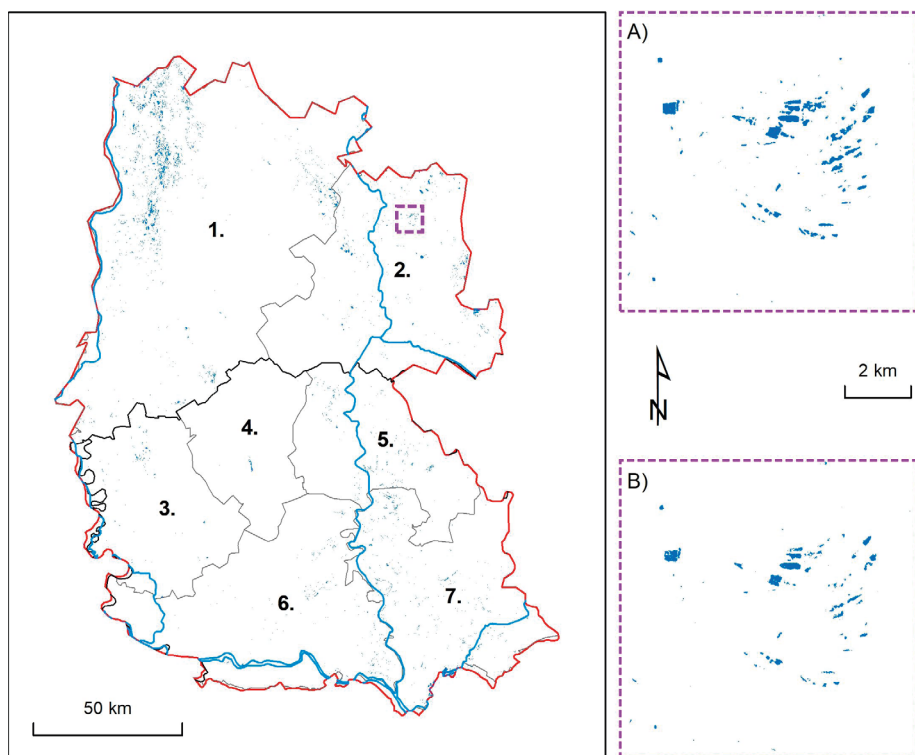


Figure 2.2 Inland excess water in the study area at the end of March / beginning of April in 2018
(1. Bács-Kiskun, 2. Csongrád, 3. West Bačka, 4. North Bačka, 5. North Banat, 6. South Bačka, 7. South Banat)

Validation

The reference data used for the validation of the method are from the aerial photography campaign that took place on 28 March 2018 (week 13). Based on the values we obtained from the cross-tabulation, 93.6% of the inundations detected by the work phase indicate actual patches of inland excess water (user accuracy, true positive), the proportion of overestimation was only 6.4% (commission error, false positive) (Table 2.2). However, it must be noted that – mainly due to the different resolutions of input data and the on-site imaging, plus because of the subjective factors in creating the reference map – only 5.4% of the reference inland excess water patches could be displayed in the result layer. This means that the level of underestimation (omission error, false negative) is very high.

Table 2.2 Results of the inland excess water map's validation, based on the measurements on week 13

Producer Accuracy:		5.42	User Accuracy:		93.58
Omission error:		94.58	Comission error:		6.42
Reference			Reference		
Detected	↓	open water	other water	no water	
	no water	94.55	99.97	98.58	
	i.excess water	5.42	0	0.03	
	mask	0.03	0.03	1.39	
Detected	→	open water	other water	no water	
	no water	6.88	3.39	89.72	
	i.excess water	93.58	0	6.42	
	mask	0	0	0	

Discussion and conclusion

The developed methodology for detecting inland excess water processes radar and multispectral satellite imagery to provide inundation information on a weekly basis. Each stage of the work process can be automated, therefore the method is suitable for operational use too. As for the limitations of the method, they are primarily rooted in the characteristics of input data: (1) the spatial resolution of the resulting map doesn't exceed the spatial resolution of input data (max. 10 m), which means that the identification of only those patches is possible that are maximum one scale larger than this. (2) In the case of using optical data, the cloud cover is the biggest in those periods when inland excess waters occur, so very often a lack of data made it impossible to cover the whole area. (3) The strengths of reflected radar signals show great variation in the case of water surfaces with different levels of roughness – turbulent water vs. calm water – so the precise definition of the threshold values applied is difficult to give. Surface cover and soil type also have considerable influence on the intensity of the radar sign from the inland excess water that accumulated at a given spot.

The method doesn't differentiate between dry soil, open inland excess water, the vegetation standing in the water and the soil saturated with water, so on the resulting binary map only the open water surface and dry soil surface categories appear. In order to be able to identify vegetation standing in the water and soil saturated with water, we need further input data, the integration of which would require lots of resources and could also limit the automation of the work process.

We need to make progress in the fields of acquiring more accurate threshold values in the radar processing method and their calibration for areas with different land covers and soils. Many challenges have also remained in increasing the accuracy of the cloud masking of multispectral images. If we manage to achieve these goals in the future, the overestimation of inland excess water areas can be reduced further.

It is also necessary to improve the validation methodology: we must engage in on-site and aerial data collection for the days when satellite imagery is available, and we must also ensure the standardisation of interpreting aerial photos.

With the help of the developed method, it becomes possible to map inland excess water inundations regularly, in large areas – at regional or even national level – which is suitable for operational use as a result of automation.

Summary

Earlier inland excess water mapping methods used to rely on the on-site measurements from a given point in time, or on aerial or satellite imagery. In this project we developed a method that can be used for permanent monitoring of inland excess water over large areas, with operational use. The radar and optical satellite images that became available in the last few years have a resolution that is getting closer and closer to the spatial and time scales of the inland excess water phenomenon, by this creating new opportunities and challenges at the same time. The maps resulting from the automated work process can contribute to the damage preventing and mitigating work of the national water management authorities and they can supplement or adjust the results of the on-site measurements that are performed up to the present day.

3. Soil moisture based drought monitoring by remote sensing and field measurements

Boudewijn van Leeuwen; Károly Barta; Zsuzsanna Ladányi;
Viktória Blanka, György Sipos

Introduction

Drought is a phenomenon that can be characterised by an extended period of deficient precipitation compared to the average and/or temperature that is much higher than the average, which consequently results in a significant water shortage (WMO and GWP, 2016). Several indices have been developed for the characterization of drought (e.g. Palmer, 1965; Pálfi, 2004, Balint et al., 2011, Zargar et al, 2011), which are mostly using the classic meteorological parameters (precipitation, temperature, etc.) and don't take into account that the severity of drought is greatly influenced by soil moisture conditions too. Some indices attempt to integrate this into the characterisation of drought in an indirect way, by utilising precipitation data for the period before the examined time frame – a good example of this the Pálfi Drought Index that is widely used in Hungary (Pálfi, 2004). Other indices already calculate with soil moisture, although the data are often not based on direct field measurements, but applying simulated values (e.g. Narasimhan and Srinivasan, 2005). However, the role of soil moisture doesn't only manifest in the regional modification of the drought's severity, but also – depending on the soil types – in the spatial pattern of drought within a given region (country, region, area). For instance in Hungary and Serbia, in the arenosol areas situated in the Danube-Tisza Interfluves, the same meteorological situation results in much more severe drought than in the areas east of the Tisza River, characterized by chernozem soils. In Hungary water shortage can be calculated for the upper 1 m layer of the soil from the simulation based soil moisture estimation of the National Meteorological Service (Chen and Dudhia, 2001; Horváth et al., 2015, OMSZ 2019a).

For on-site measurement of soil moisture several methods are available, and the most widespread methods worldwide and also in Hungary are based on dielectric constant measurement, especially the volumetric water content measurements utilising TDR (Time Domain Reflectometry) technology (Kirkham, 2014). Within the framework of a previous project (WAHASTRAT, HUSRB/1203/121/130; 2013-2014), 16 stations were installed in Southeast Hungary and in Vojvodina, where soil water content at six different depths (10, 20, 30, 45, 60 and 75 cm) and meteorological parameters are also measured (Barta et al., 2014). Based on the experiences of this

station network, a countrywide network of stations for meteorological and soil water content monitoring was installed in 2016 (Fiala et al., 2018), which is operated by the General Directorate of Water Management (OVF) and is expanded continuously. By the summer of 2019 the number of stations reached 47 (OVF Drought Monitoring 2019).

In spite of having an extensive monitoring system both horizontally and vertically, the preparation of nationwide map of the current soil moisture condition is also a major challenge, because the spatial extension of point type measurement data faces many difficulties in the case of soil moisture. Just to mention a few: the spatial diversity of hydrophysical characteristics of soils (e.g. texture, saturated hydraulic conductivity, soil compaction), the role of macro- and microtopography in the development of moisture conditions, and the influence of mosaic type land use and land coverage. Furthermore, on the site of monitoring stations, the agricultural cultivation cannot be continued, therefore the difference in land cover and the lack of soil cultivation question the representativeness of the measured soil moisture data at the stations. The solution to the complex problem can be the integration of remote sensing methods providing spatially continuous data.

Satellite remote sensing allows developing and applying algorithms that are capable of deriving information from large area of the earth surface in a uniform method. The estimation of soil moisture content based on satellite data has been a challenge that was studied over the last 3 decades (Srivastava et al., 2016). Approaches based on data from optical, thermal infrared and microwave sensors have been applied to estimate soil moisture over large areas with a high temporal interval. Barret and Petropoulos provide a detailed overview of these approaches (2014). Most approaches to retrieve soil moisture from satellite data are nowadays based on microwave data. Especially with the launch of Sentinel 1 radar satellites this is a promising direction. Unfortunately, no medium to high resolution soil moisture product is available yet, and therefore in the research an optical – thermal infrared approach is followed.

The large spatial and temporal heterogeneity of soil moisture content makes it difficult make accurate estimates over large areas. Point measurements are representative for a relatively small area, while satellite-based measurements integrate measurements over a large area and store the result in one pixel. Calibration and validation of satellite-based measurements with field measurements is therefore a difficult task.

In our research the aim is to provide continuous satellite derived soil moisture datasets for the project study area (Csongrád and Bács-Kiskun Counties in Hungary, Vojvodina in Serbia). To convert the resulted soil moisture index (SMI) maps to soil moisture content (SMC) in v/v% (volumetric water content, generally applied in pedology), the satellite derived SMI maps were attempted to be calibrated with field measurements of the soil moisture content. This chapter describes the research methods and the gained experiences applied in the project.

Methods

The satellite data based approach presented here is based on MODIS vegetation index MOD13 16 day composites and MODIS land surface temperature MOD11 data. These data sets have been produced since 2000 and are therefore suitable for long term studies and continuous monitoring. The vegetation data is created by storing the maximum NDVI value for each pixel within a 16-day period (Huete 1999). This way cloud and other disturbances are minimized and data for the total study area can be acquired. It is assumed that within the 16 day period the vegetation state is relatively stable. The spatial resolution of the data is 250 x 250 meter. The land surface temperature data is a daily product with a spatial resolution of 500 meter (Wang 1999). After registration, both input data sets can be downloaded and used freely.

The optical – TIR based method is based on the assumption that thermal differences in areas with similar vegetation cover are the result of changes in their soil moisture content (Vicente-Serrano et al., 2004). The algorithm was implemented using a set of python scripts and the arcpy geoprocessing library (Fig. 3.1).

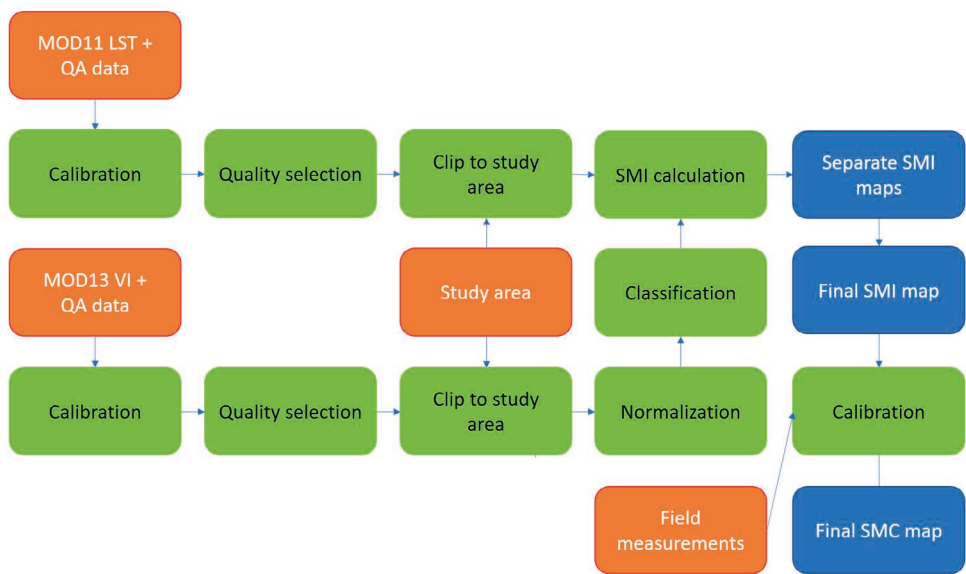


Figure 3.1. Soil moisture index processing workflow

To determine areas with the similar vegetation cover, the NDVI layer is extracted from the MOD13 product. Using the reliability layer of the same MOD13 product, pixels with insufficient quality are removed. The remaining pixels are normalized and reclassified in 10 classes with equal width. Only if all classes are defined (that have pixels), the algorithm is fully determined, and the temperatures are processed. The land surface temperature layer is extracted from the MOD11 product. Only pixels with high quality are used for further processing. For each vegetation fraction

class, the minimum and maximum temperatures are extracted and the linear relationship between the land surface temperature and soil moisture content index within the class is established using (1).

$$SMI_{i,c} = \frac{LST_{c,min} - LST}{LST_{c,max} - LST_{c,min}} + 1 \quad (1)$$

where $SMI_{i,c}$ is the soil moisture index for pixel i in class c . In this way, 10 SMI maps are created giving the soil moisture content for each vegetation fraction class. Combining the separate SMI maps gives the final SMI map for the total study area. The final map contains index values between 0 (minimum soil moisture content) and 1 (maximum soil moisture content). SMI maps can only be determined if sufficient pixels are available in the vegetation and land surface data, and if every vegetation class is determined.

To convert the SMI maps to soil moisture content in v/v% units, the individual maps need to be calibrated with ground measurements. Two methods have been applied to calibrate the data. The first method is based on the soil moisture station network maintained by the Hungarian water authorities (OVF Aszálymonitoring 2019). This network consisted of 47 stations in March 2019 of which 27 are in the area that was covered by this study (Fig. 3.2). Air temperature, soil moisture at 6 depths, soil temperature at 6 depths, relative humidity, and precipitation are measured by the stations. A php and curl API is provided to automatically download hourly data for every station. A python script was used to download the soil moisture data from a depth of 10 cm. For the period 01-01-2017 until 03-30-2019, if an SMI map was available, the soil moisture index was extracted from the SMI maps at the locations of the measurement stations, and compared to field measurements at 11:00 UTC, which is more or less the time of the MODIS satellite overpass. In this way, for each day, the coefficient of determination between the satellite based measurements and the field measurements was calculated. If the coefficient of determination was higher than 0.5, the original SMI map was calibrated using the slope and intercept derived from the field measurements to get the final SMC map.

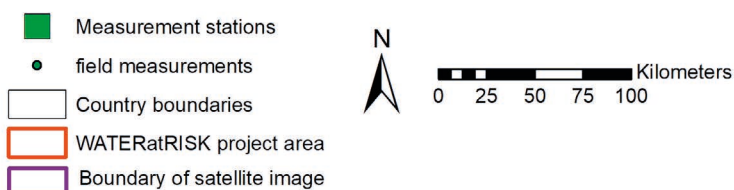
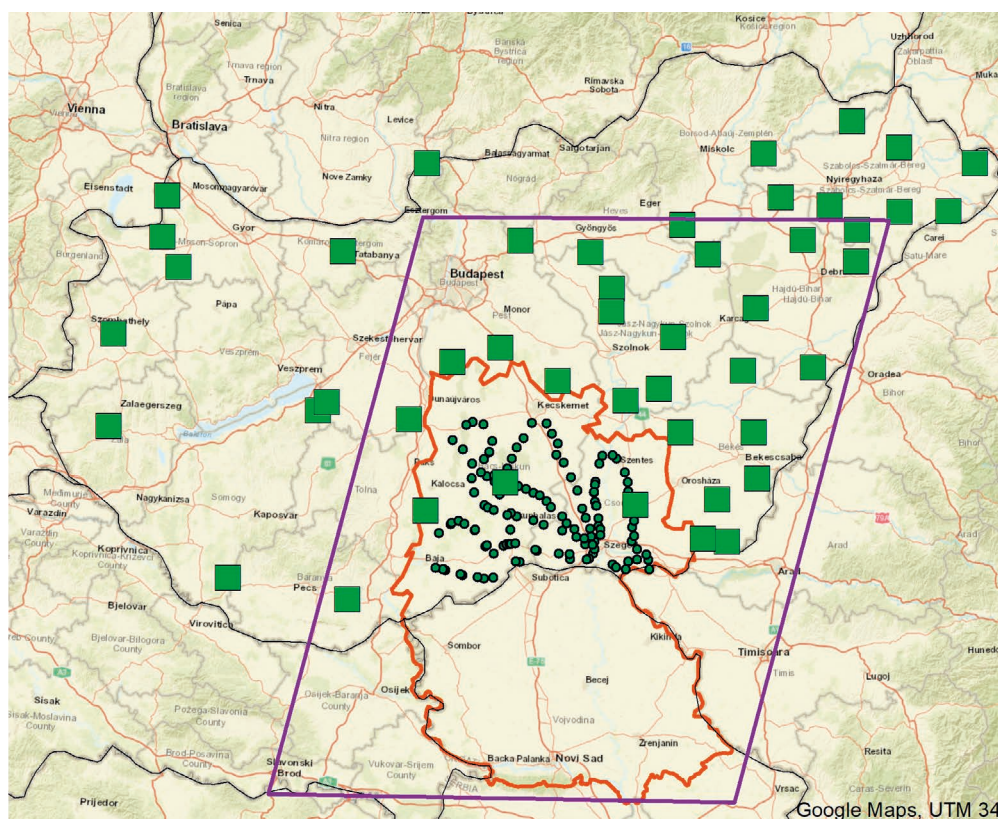


Figure 3.2. Study area representing the soil moisture measurement stations and the field measurement points obtained within the survey on 27 March 2019

The second calibration method was based on a field measurement campaign executed on March 27, 2019. On that day, four teams measured soil moisture content in the field using portable FieldScout TDR350 sensors (Fig. 3.3), which determine the average moisture of the soil's upper 12 cm layer directly in v/v%, and with their integrated GPS module they instantly assign also the coordinates to the measurement points. Each team measured soil moisture at about 35 locations, over a route having a length of about 200 km per team (Fig. 3.2). Portable devices have made it possible to carry out a survey that represent the land use and soil type –of certain parts of the study area. During the selection of the measuring points, it was an important factor to select plots with a size that covers at least one full pixel in the remotely sensed MODIS images. Taking into account the 250 x 250 m resolution of

the images, the goal was to select minimum 500 x 500 m plots. Most of these were arable lands, but there were also grasslands, orchards (vineyards) and forests.

At the same locations of the field measurements, soil moisture index data was extracted from the SMI map from the same day (Fig. 3.3). Also here, the coefficient of determination was calculated to evaluate the strength of the connection between the satellite derived estimates and the field measurements.

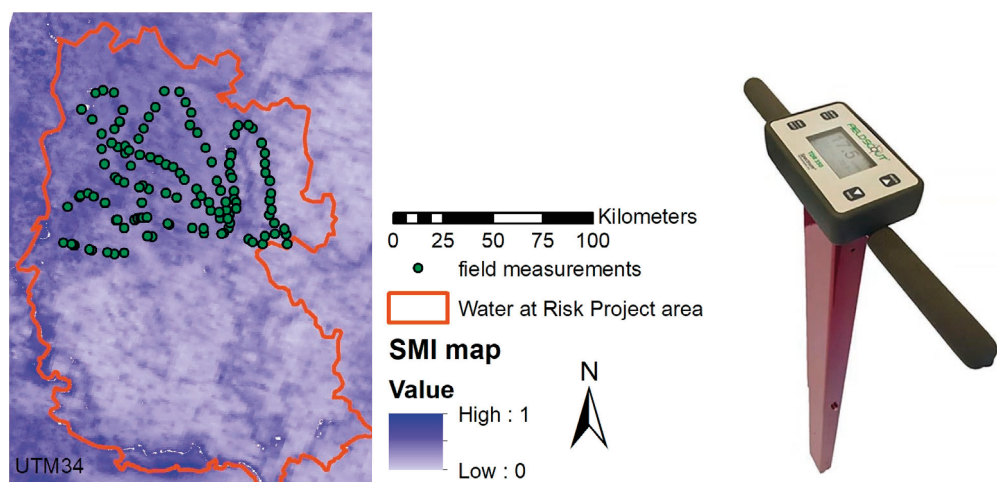


Figure 3.3. Field measurement campaign on 27 March 2019 and the FieldScout TDR350 instrument

Results

The satellite derived soil moisture maps were compared with the data of 27 soil moisture stations for the period 01/01/2017 until 29/03/2019. For 630 days a satellite based SMI could be produced, but many maps were produced during cloudy days resulting in large areas without SMI values (Fig 3.4).

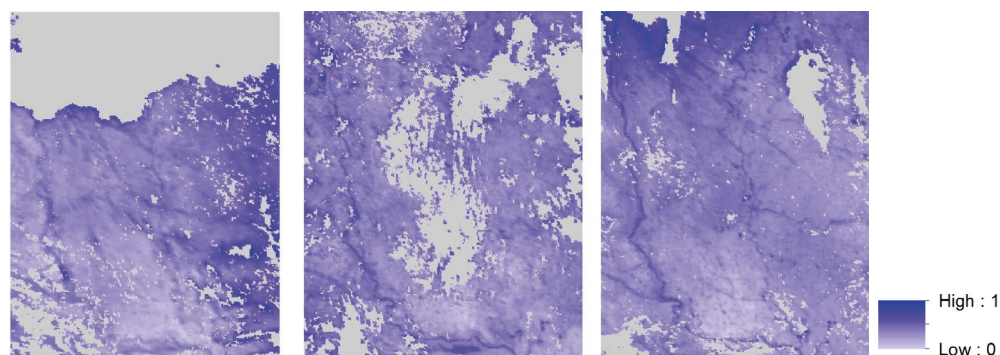


Figure 3.4 Soil moisture index maps with varying amount of missing data (gray areas) from 1 January 2017 (left), 25 April 2017 and 12 November 2018 (right)

To be able to determine the relation between the field measurements and the satellite data, it was decided that at least four points were required. In many cases, this requirement was not met, because the measurement stations were in areas where no SMI data was available. In total, on 440 days (or 70%), the regression equation could be determined. A further reduction was obtained because in many occasions the coefficient of determination was very low. It was decided that only if the relationship was positive and the coefficient of determination was above 0.5, the data from the ground soil moisture station could be used to calibrate the SMI map. This resulted in 27 (or 7.5 % out of the total period of 630 days) SM maps (Fig 3.5).

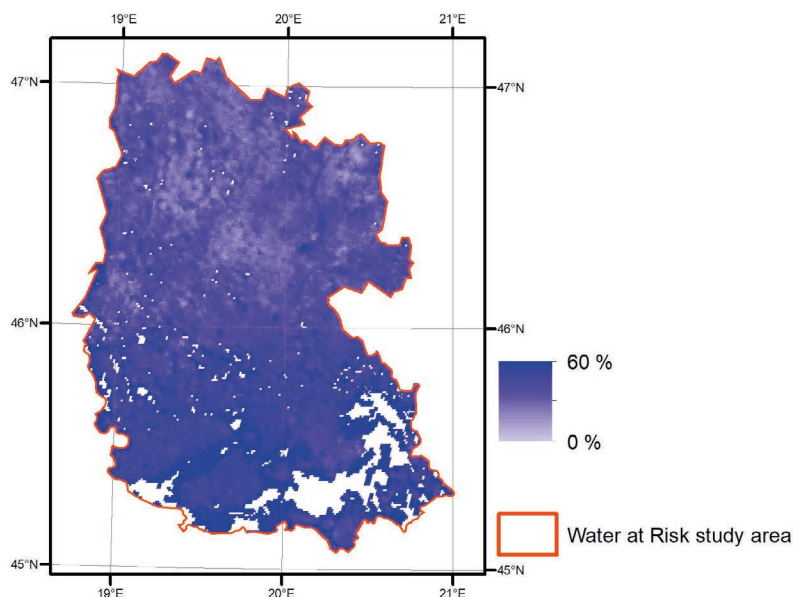


Figure 3.5 *Soil moisture content map, calibrated based on the soil moisture ground station network of the OVF for 14 July 2018.*

The soil moisture data measured on 27 March 2019, resulted in an *in situ* dataset of 136 soil moisture measurements. They were compared with the SMI map created based on satellite data for 28 March 2019. This was decided, because the image of the same day as the measurements was cloudy and in quite some places no data was available (Fig 3.6).

Based on the coordinates of each field measurement, SMI data was extracted from the pixel that was located at the same location. These values were plotted against the soil moisture content values in the field and the coefficient of determination was calculated (Fig 3.7). Unfortunately, no statistical relationship between the values can be determined. Several attempts were made to create subsets for land use and soil type, but also then the coefficient of determination was close to 0.

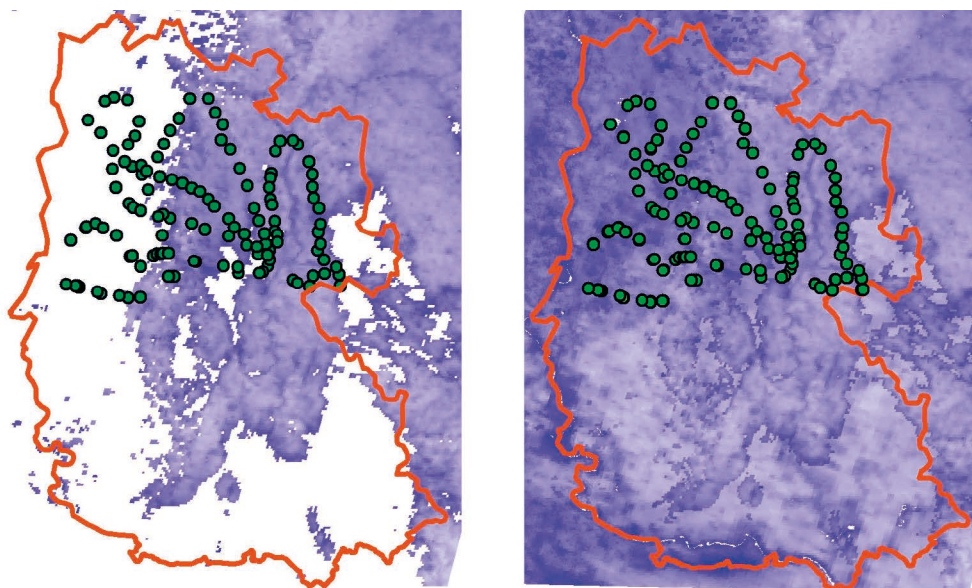


Figure 3.6 Data availability for 27 March 2019 and 28 March 2019.

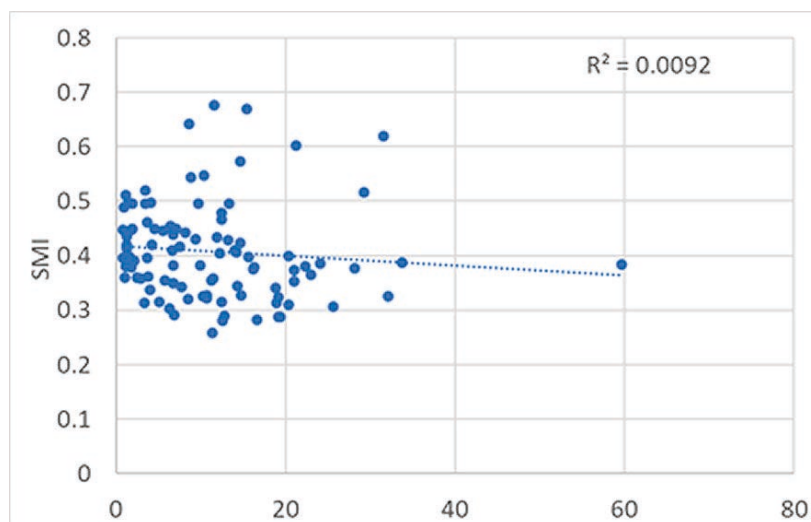


Figure 3.7 Relationship between volumetric soil moisture measurements in the field (horizontal axis) and satellite derived soil moisture index values (vertical axis) (total data sets)

The satellite derived soil moisture index values are indirectly derived from optical, near infrared and thermal data that measured over an area and integrated to one value for the complete pixel. The field soil moisture measurements are point measurements representative for the direct surroundings of the measurement. The main reason for the lack of correspondence between the two data sets is this large difference in scale. Another reason might be due to the fact that it is difficult to determine

which pixel in the satellite image represents the soil moisture index value at the location of the point measurement. Overlaying the two data sets shows that a point may be on the boundary of two pixels (Fig 3.8 upper left). When observing the location of the point measurements on a very high-resolution satellite image, it can be seen that the point probably represents the large field to the south (Figure 8 upper right). To correct for this problem, this type of points was manually moved to the pixel that probably gave a more realistic value (Fig 3.8 lower left and lower right). Unfortunately, also this manual correction did not provide a better coefficient of determination.

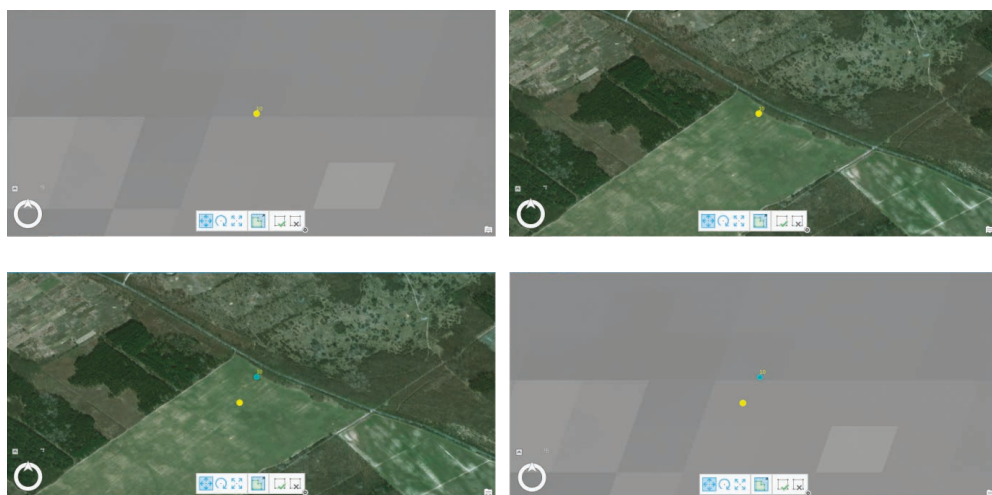


Figure 3.8 Manual adaptation of location of field measurements to improve the SMI value extraction. Upper left: original location of the point measurement in yellow on top of the SMI map (in gray). Upper right: original location of the point measurement on top of a very high resolution satellite image. Lower left: original point measurements (now in blue) were moved to their corrected location (in yellow). Lower right: new point location on top of the SMI data

Another example of misrepresentation of the point measurements is given in Fig 3.9. The point measurement overlaid on the SMI file seems to represent one pixel, but in reality, that pixel is composed of an integrated soil moisture index value that is based on very different land cover types e.g. build up area, forest and fields with different types of agricultural activity (Fig 3.9 right).



Figure 3.9 Example of mixed land use

One of the most important requirements from the selected field measurement points is to be located on a plots with homogenous land use, the size of which is bigger than twice the spatial resolution of the satellite image in both directions. Even on a homogenous plots, the differences in temperature and moisture resulting from the microtopographic conditions can be problematic (Fig 3.8). Unfortunately in the study area, on both the arenosols with diverse relief and in the depressions and ridges of the slightly wavy Bácska Loess plateau, there are significant differences in humus (in colour) and moisture content. In the measuring campaign, it could have been another source of error that the measuring was performed in a dry period, and the soil's drying depth was 8-15 cm. This meant that the value measured by the 12 cm long sensor was the average of the dry upper soil layer and the wet layer below it. Our experience is that the best time for calibration is the period that begins 5-6 days after the end of a rainy period, when – depending on the hydrophysical characteristics of the soil – the drying of the soil has reached a stage that there are significant differences between in both soil temperature and soil moisture, but the upper soil layer isn't dry yet.

Another experience from the field measurement campaign was that the measured soil moisture data showed strong correlation with the soil's salt content (Fig 3.10/a). Fig 3.10/b shows the spatial distribution of salt content, indicating that the salt content was much higher east of the Tisza River than in the Danube-Tisza interfluve. However, if those points where salt content is bigger than 0.06% were excluded and examine the relationship with only those soils that don't have sodic soil characteristics, the correlation isn't detectable. It can be concluded that the next measuring campaign, it would be useful to apply other soil moisture measurement types that are based on different methodology, too, for calibration purposes.

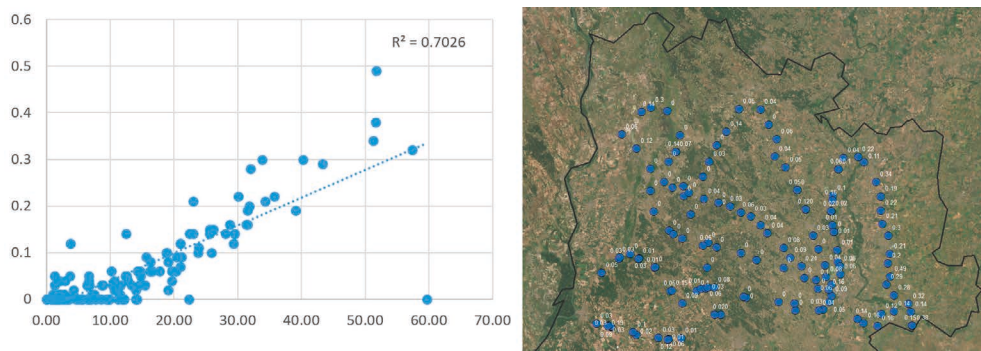


Figure 3.10 *Relationship between soil moisture (VWC) and salt content (EC) in the study area (a), salt content values measured during the measuring campaign (b)*

Conclusion

During the testing of the developed methodology, several limiting factors could be identified that make the applicability of calibration difficult. In the remaining period of the project a further measuring campaign is planned, based on the experiences, when the field measurements will be carried out after a rainy period, so a wider spectrum of soil moisture data could be provided for calibration purposes, and more attention will be given to the pre-selection of larger and homogenous plots for measuring. Besides using the TDR technology portable devices, soil samples will also be collected to measure the water content (m/m%) of the soils also in the laboratory, by this eliminating the possible influence of sodic soil characteristics. The SMI maps that are currently being created and published provide relative soil moisture data for the time being, which – although they don't represent absolute volumetric percentage – are still capable of representing the actual spatial differences in soil moisture conditions. In addition to the improving spatial resolution, radar data can be used to solve the problem of cloudy periods, but their calibration and validation issues still need to be resolved.

4. Remote sensing data collection and analysis for vegetation monitoring since 2000 at various scales in Southeast Hungary and Vojvodina

Ferenc Kovács; Zsuzsanna Ladányi; Viktória Blanka; Péter Szilassi;
Boudewijn van Leeuwen; Zsolt Tobak; András Gulácsi; Elemér Szalma;
László Cseuz

Introduction

Biomass (land cover) is a fundamental climate variable, therefore accurate and up-to-date information on the state of vegetation is needed, even at global level. As a climate indicator, it refers to short-term and trend-like changes, which could be evaluated applying remote sensing methodology (Ladányi et al. 2011b, Gulácsi and Kovács 2018, Szabó et al. 2019). Changing environmental conditions basically forecast decreasing biological productivity, therefore in environmental researches the key-question is whether the agriculture and forest management will be able to adapt to the constantly changing environmental conditions or not.

As multispectral vegetation monitoring has high temporal sampling resolution, it could support spatial planning by providing real-time data. The studied period between 2000 and 2018 was analysed based on pixel-scale processing of more than 450 images, and this amount of data is increasing with the involvement of current satellite images. Therefore, during data processing it was essential to utilise automation and big data methodology, which were carried out on the freely available Google Engine platform (Kumar and Mutanga 2019). The aim of the study is the spatial analysis of the relationship between drought and vegetation anomaly. The latest results are available on the interactive project website.

The study area is one of the most sensitive regions to climate change from the point of view of drought sensitivity of forest ecosystems. Here, the sustainable land use that can adapt to the climate is closely related to the preservation and state improvement of forest ecosystems (Mátyás et al. 2010). Land covered by woody vegetation can get water from soil layers located close to groundwater, therefore they are suitable for detecting long-lasting dry periods, while the herbaceous vegetation of pastures, meadows and arable land is sensitive to the short dry periods.

Our results are unique for the region, therefore they perfectly complement the spatial results of those European and national drought monitoring GIS systems that study the impacts of climate change at larger time and spatial scale (European Drought Observation, Drought Watch, TEMRE, NATÉR).

We analysed the biomass production on agricultural lands based on high time resolution MODIS 250 m images utilising the LUCAS database. Plots where corn was grown were analysed for several years. We also summarise the opportunities of the application of eBee X fixed-wing drone in high spatial resolution vegetation monitoring by analysing its images.

Sampling area and methods

The biomass production for the whole study area was made using low resolution satellite images (Fig 4.1/a). In the last two centuries large areas were involved in agricultural production, thus the natural vegetation has remained only in small areas, e.g. loess and sandy grasslands, riparian forests in floodplains. Nowadays in the northern, Hungarian part of the study area forest plantations are common, while in Vojvodina agricultural land use dominates. There is no common and detailed spatial database for agricultural yields, therefore the analysis since 2000 was performed only for the relatively constant land cover categories: for various forest types, meadows and pastures, and wetlands (Fig4.1/b). The identification of land use categories was based on 1:100.000 Corine Land Cover database from 2018 (Fig 4.1/a). On the low resolution MODIS images the seasonal changes and deviations can be identified based on the homogeneous cells. Due to the sensitivity of remote sensing methods on surface heterogeneity, pixels with a homogeneous land cover had to be selected. Cells with 75% homogenous cover are used by the Hungarian forest monitoring (TEMRE), while Kovács (2018) applied cells with 66% homogenous cover, whereas Kern et al. (2017) used cells that have at least 90% homogenous cover. On the study area we filtered the MODIS cells with at least 50% cover of the given land cover category, therefore 6265 km² large area was studied in detail, which is 38% of the entire study area. After the filtering we analysed 37% of the meadows and pastures, 70% of the hilly forests, 40-40% of the lowland and floodplain forests, and 26% of wetlands based on CLC 2018. On the selected plots woody and herbaceous vegetation types were represented equally (50-50%); the majority of the forests belonging to the class of lowland forest (2130 km²), while the hilly forest can be found in the smallest proportion (200 km²).

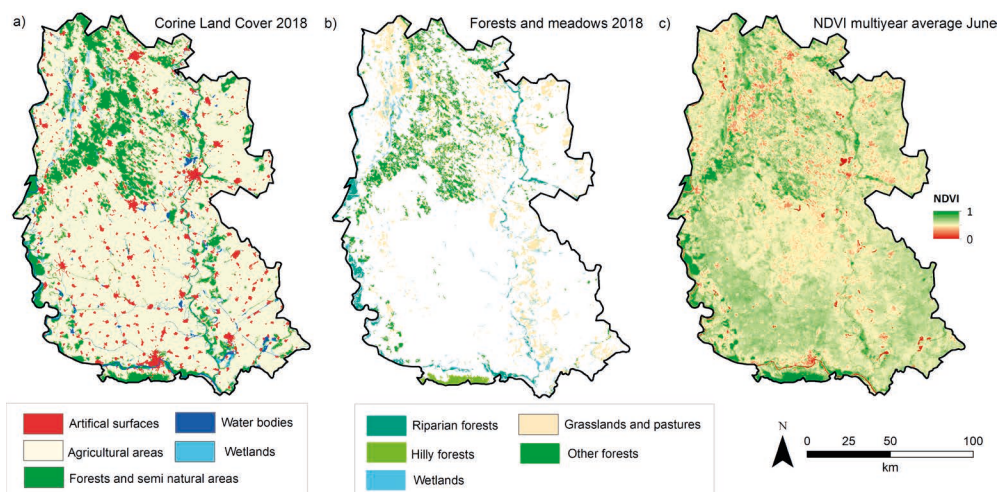


Figure 4.1. Land cover based on Corine Land Cover (2018) (a); selected forest, meadow-pasture and wetland habitat polygons (b); and the average June (2000-2017) NDVI map of the study area (c)

Application of spectral indices in drought monitoring

We had tested four generally used spectral indices: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Enhanced Vegetation Index (EVI), Normalized Difference Water Index (NDWI), Normalized Difference Drought Index (NDDI). The freely accessible 500 m spatial resolution, 8 day MODIS MVC (Maximum Value Composite) couples the cell with the reflectance of the path presenting the highest NDVI; the $NDVI_{max}$ value of the 8-day-period will always be the most accurate geometrically. Indices calculated utilising the MVC processing offer better estimation than the daily data (Huete et al. 2002). The MOD09A1 images and MOD13A1.006 products were processed on the Google Earth Engine platform.

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$

$$EVI = G \cdot ((NIR - Red) / (NIR + C1 \cdot Red + C2 \cdot Blue + L))$$

$$NDWI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$$

$$NDDI = (NDVI - NDWI) / (NDVI + NDWI)$$

where NIR: near infrared, SWIR: shortwave infrared, Red: red, Blue: blue are wavelength ranges; $L=1$; $C1=6$; $C2=7.5$; $G=2$

According to Kern et al. (2017) and Gulácsi and Kovács (2018), it is justified to use more indices at the same time because there is no perfect index. Their values range between -1 and +1. In the case of NDVI and EVI the higher the index value is, the greater the observed photosynthetic activity. In a biologically complex areas NDVI is suitable for assessing changes, but in areas with a large biomass it converges to saturation and this causes scaling problems. The EVI is more sensitive to high biomass

production, it has a better defined peak, besides its narrower range is an advantage in offsetting 'saturation', thus it highlights the leaf loss and reduces the influences of the surface and the atmosphere. The majority of regional observations rely on MODIS EVI solutions (Huete et al. 2002, Solano et al. 2010).

The NDWI describes the humidity content of the foliage, if the moisture content decreases, the reflectance increases in the SWIR range. According to Szabó et al. (2016), the NDWI does not provide considerably extra value for NDVI-based assessment, but Jackson et al. (2004) and Gu et al. (2007) stated that the NDWI is better for estimating moisture content. The statistical relationship between the two indices validates the NDDI drought index that applies them. In case of drought these water indices decline more and faster than the vegetation index, thus the positive deviation of the NDDI indicates drought. The validation studies that were also performed on the study area revealed that the NDVI and the NDWI provide more realistic results considering at-a-site meteorological data, while other remote sensing data refer to the greater reliability of the EVI (Kern et al. 2017, Gulácsi and Kovács 2018, Kovács 2018).

In addition to analysing the multiyear average, it is the standardised anomaly that refers to the extent of exposition to hydrological extremities, which are strengthening based on the forecast of Mezősi et al. (2016). Based on the standardised anomaly the water shortage of the studied period can be identified, which reduces the biomass production or delays its temporal dynamics.

$$NDDI_{\text{standardised}} = (NDDI - NDDI_{\text{average}}) / NDDI_{\text{deviation}}$$

Usually the indices of plots covered by herbaceous vegetation are consistent with the occurrence of drought, however forests do not necessarily reflect the meteorological anomalies (Kern et al. 2017).

Analysing the vegetation condition on agricultural fields applying the LUCAS database

It is a difficulty in agricultural monitoring that spatial data are not available on various harvest results at a regional scale. To solve this problem, we applied the greatest spatial resolution (250 m) images of the high time resolution MODIS. We utilised the LUCAS database for assessing the biomass curve values that were provided based on the 16-day MVC EVI index for designated corn growing plots. This crop was selected, because corn is the most sensitive agricultural plant to droughts. Land use was recorded on photos taken at designated points on-site, as this database is updated in every 3 years.

We selected the points that indicate corn cultivation in the years 2006, 2009, 2012 and 2015. There was no other type of land use in the proximity of the selected points, therefore the vegetation index realistically reflects the conditions relevant for the corn. In the next phase we characterised spatially and temporally the biomass

production curves of the points, according to the individual years and the main landscape types. According to the Pálfi drought index (PAI), from the four studied years the year of 2006 was rainy ($PAI_{Szeged}=4.25$), while others could be considered as drought years (2009 $PAI_{Szeged}=8.26$; 2012 $PAI_{Szeged}=13.97$; 2015 $PAI_{Szeged}=10.10$). The spatial analysis was performed for four different regions (Bácska, east of the Tisza River, Danube Plain and Danube-Tisza interfluve), thus the spatial diversity of the consequences of droughts could be analysed in different geographic settings.

Opportunities of very high resolution vegetation monitoring

In the study we performed very high spatial resolution data collection too, as it is necessary in plot-scale vegetation monitoring. SenseFly eBee X fixed-wing drone was applied, which utilises S.O.D.A. sensor that acquires data in the visible spectrum and the Parrot Sequoia+ sensor that captures imagery in the infrared range. The applied 8-cm-resolution made detailed vegetation monitoring possible, in areas up to 20-30 km² large. To study the effects of water shortage on plots with autumn wheat a survey was made in the spring of 2019.

Results

Long-term spatial and temporal analysis of vegetation indices for drought monitoring

The average index values for the 2000-2017 period prove that our habitat selection was correct (for forests, pastures and meadows, and wetlands), as well as the selected four indices were useful (Fig 4.2.). There was a significant difference between the NDVI and EVI too, which apply similar principles. As it was expected, the biomass production is the greatest in the case of hilly forests (Fruska Gora) and during most of a year it is the lowest for herbaceous vegetation. The EVI followed the annual changes in biomass production better, while with the very high NDVI mean values hardly decreased after the summer canopy was fully developed, thus in the remaining part of the vegetation period their applicability is limited. The most intensive change was detected during the rapid spring vegetation growth, when the EVI/NDVI median values grew by up to 0.1 during the 16-day-periods.

Land cover categories could be identified with high precision based on the NDWI. The curves are sensitive to external effects. High NDDI suggest drought, which is important for interpreting lower values, while the riparian forests which were not influenced by water shortage have the lowest mean NDDI.

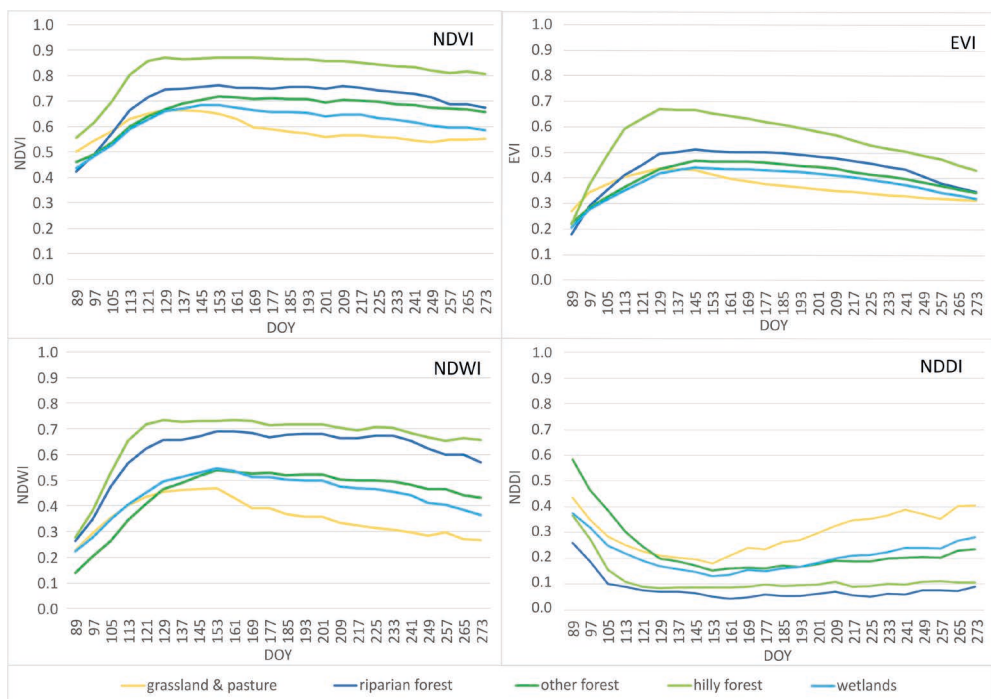


Figure 4.2. Mean spectral index values calculated for the summer half-year based on the data of 2000-2017 period, applying 8-day composite images (the Y axis indicates the given day of the year - DOY)

Applying the standardised NDDI anomaly the extremely dry, drought periods for vegetation could be selected. The analysis of the spatiality of the droughts in 2018 and 2019 enabled us to evaluate the geographic consequences of increasingly frequent and severe drought situations (Fig 4.3.).

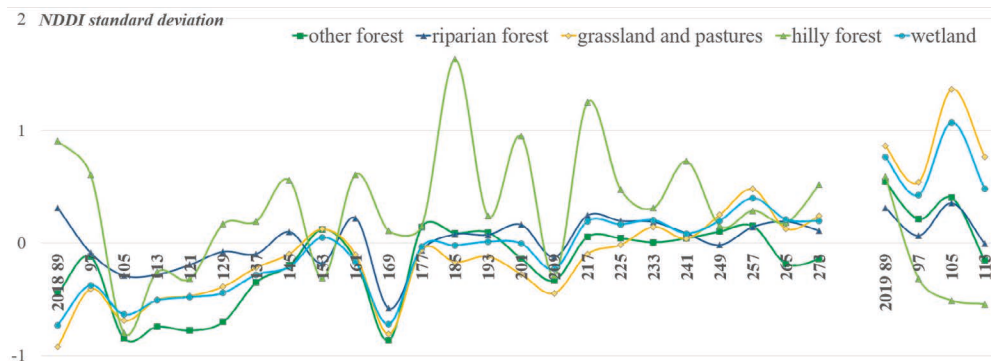


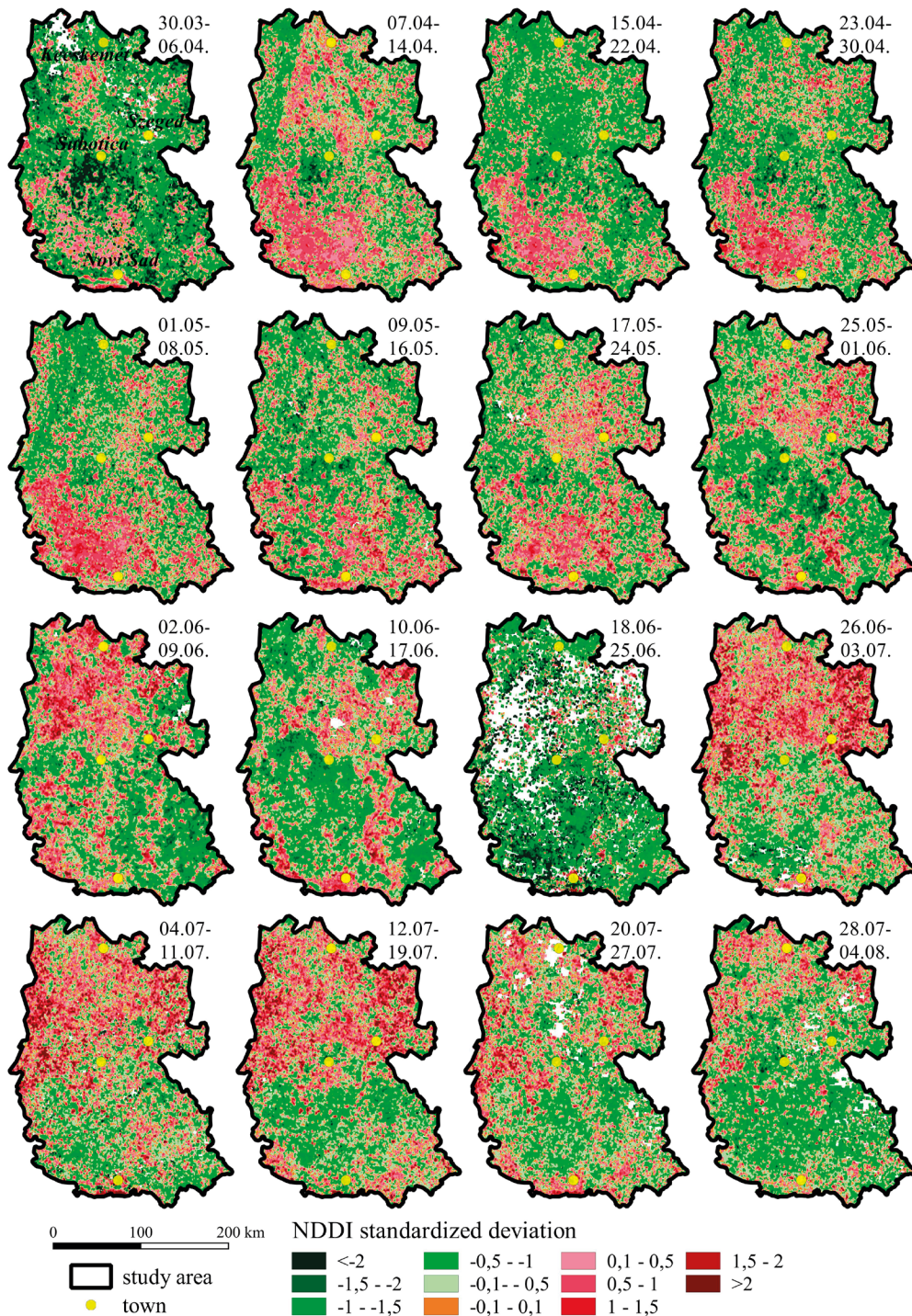
Figure 4.3. Mean anomalies of the NDDI standardised median values calculated for the periods of 30 March-7 October 2018 and 30 March-30 April 2019

In the NDDI deviation values above 1.0 indicate drought. If the mean value of an area reaches or exceeds this value, typically drought conditions can be observed. In 2018 it was reached only in the hilly forests, but due to the precipitation and temperature conditions this period was not continuous, so no serious drought developed. In the spring of 2019 the deviation stayed above 0.5 continuously on meadows, pastures and wetlands, which might indicate the development of a summer drought. Unexpected great changes (NDDI deviation >2.0) can occur in the spatial distribution of the value referring to various human impacts (Fig 4.4.).

Among the mean curves of midyear deviations of the studied land cover categories, the deviations of hilly forests are outstanding, as they had either higher values than other surfaces or they run differently than the other curves. It can be explained by the facts, that hilly forests can be found only in the elevated Fruska Gora mountains, and they are located in the southernmost part of the study area, thus they exposed to climate change that is increases towards south. The NDDI deviations are the most typical in the springs, when the climate influences the photosynthesis and water content the most. The curves of wetlands, meadows and pastures rarely differ.

The study area is climatically relatively homogenous, thus the local/regional differences are caused by other geographic effects. At several periods the Danube-Tisza interfluvium and the low-lying parts of Bácska are different. In the Hungarian part of the study area since 26 June 2018 mainly areas with positive NDDI deviation are abundant. Drought was characteristic of the entire study area between 6 and 21 September 2018 and in April 2019. Pixel based analysis reflects local characteristics better than the average values, which means that even in the periods with favourable average values there are bad quality, drought lands. In the lowlands forests that are characteristic in the Danube-Tisza interfluvium pixels almost continuously positive NDDI deviation values were detected from early June 2018 until late April 2019.

2018



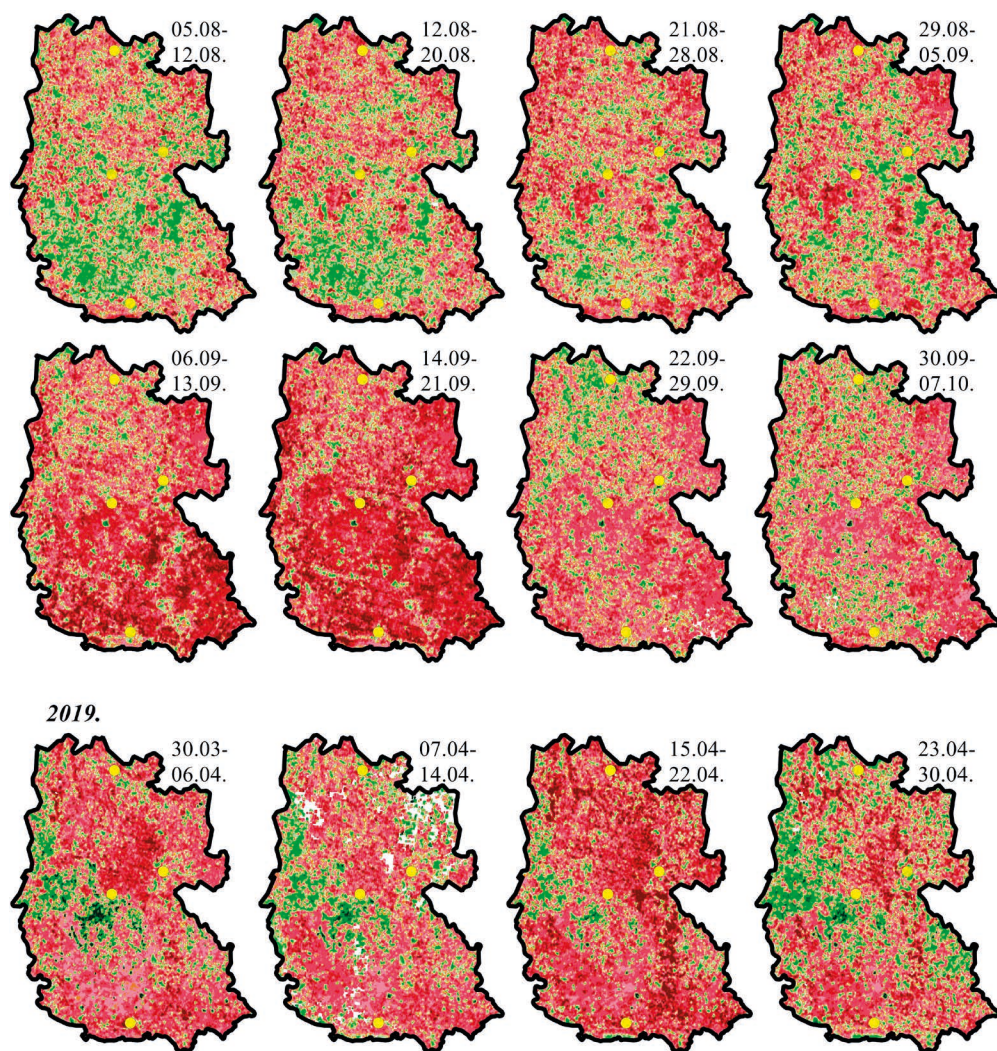


Figure 4.4. *Spatial analysis of standardised NDDI in 2018-2019*

Spatial and temporal changes of agricultural areas

Within the studied period the rainy 2006 had the highest EVI value, but a recession in the average values for early June was caused by a rainy period when the monthly rainfall was above 100 mm in May and June and by the development of inland excess water. In the years of 2009 and 2012 the EVI curves reflect droughts: in May and June 2009 the ascending of the EVI curves started later than in other years, and it reached its rather low peak just by July; while in the case of the year 2012 the initial rapid growth of the curve was followed by the lowest values after

early June. These anomalies of the EVI curves are comparable with the average crop yields for the counties (Fig 4.5.). In both counties the crop yield was the highest in 2006, while it was the lowest in 2012.

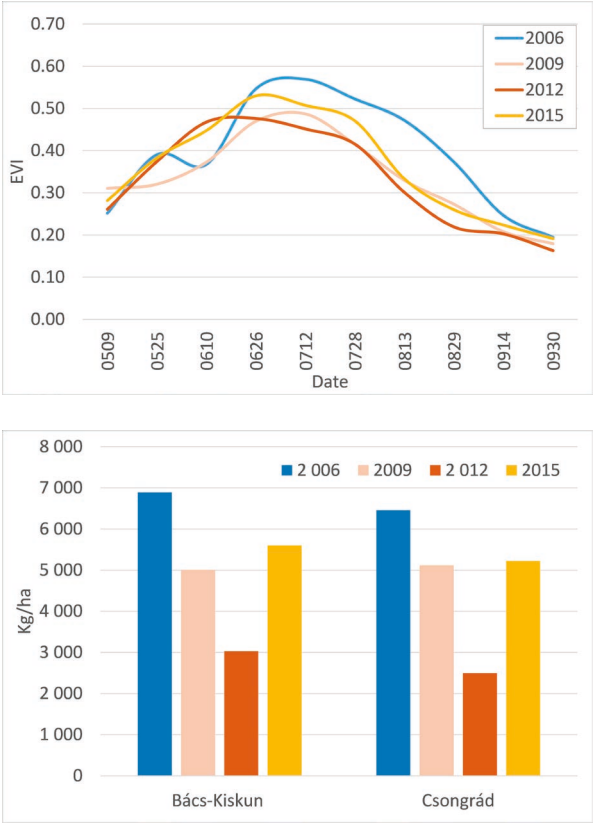


Figure 4.5. Average EVI values of the corn plots based on 16-day MODIS MVC images in the studied years (a), average corn yield in Csongrád and Bács-Kiskun counties in the same years (b)

The biomass curves were the most similar in 2006, as the result of favourable precipitation conditions (Fig 4.6.). In this year in July and August the ripening is the most visible, and the highest values developed in the Danube-Tisza Interfluve. In contrary, the differences in EVI values were the greatest in 2009, when the lowest average values were measured east of the Tisza, while in Bácska the curves had steady running. As a result of the drought, the values for the Danube-Tisza Interfluve and for the areas east of the Tisza were halved compared to 2006. In case of drought years, for example in 2015 the maximum EVI values developed only at the end of June or beginning of July, while in 2012 from the beginning of June the EVI value decreased in every study area. The secondary (late) maximum values that can be seen on the curves of the last two years, could also be connected to the full ripening of the corn, which was supported by the dry and hot weather, however in these years rainfall was low in the spring and early summer. In 2012 and 2015 the severity of

the drought was similar, but 2012 was preceded by a hot and dry year, while in 2014 there was no drought. This could explain the differences and higher values in Bácska and east of the Tisza. The lowest biomass production was measured in the years with the worst crop yield (2009, 2012) in the plots situated in the Danube-Tisza Interfluvium, thus in the future the cultivation of corn should be reconsidered.

The sudden changes in the EVI mean values indicate vegetation that reacts rapidly to changing environmental conditions and human impacts. For example, the development of inland excess water in 2006 that has already been mentioned, or the drop in the EVI in 2012 in the Danube-Tisza Interfluvium and in 2015 in the Bácska region was caused by crop harvest, or a sudden increase in the value was caused by favourable meteorological conditions at the end of July 2012 in the Danube-Tisza Interfluvium and in 2015 along the Danube.

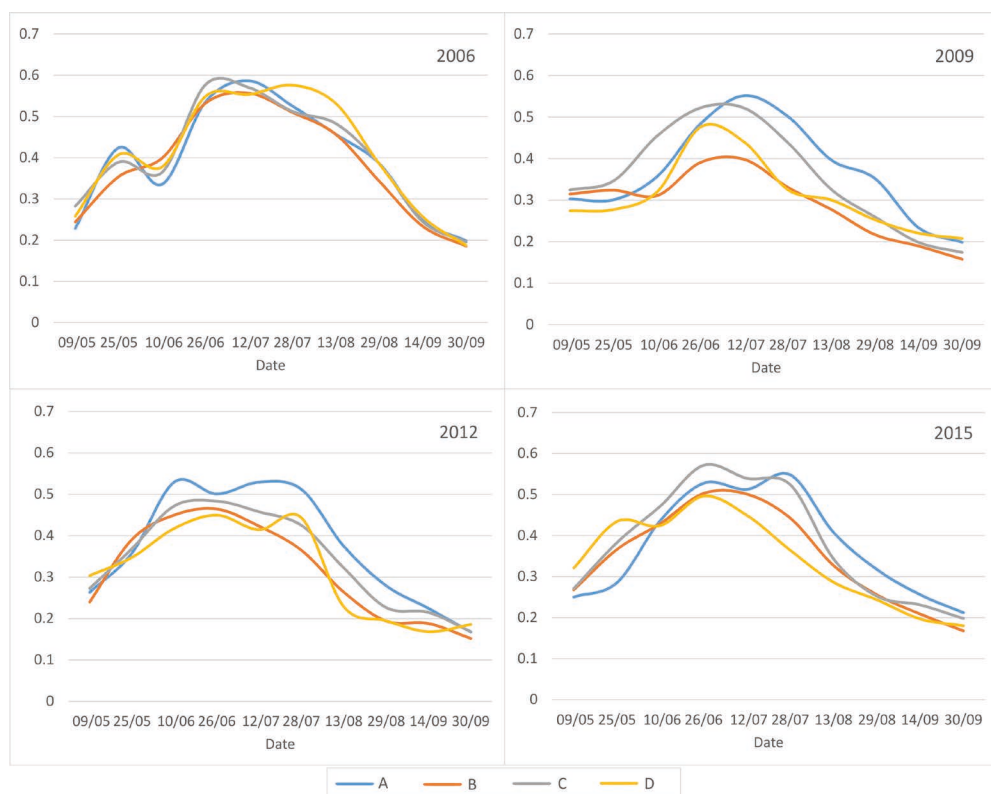


Figure 4.6. Biomass curves drawn from 16-day composite EVI index images for the studied years for corn fields represented in the LUCAS database in Csongrád and Bács-Kiskun counties A: Bácska, B: Danube Plain, C: Danube-Tisza Interfluvium, D: region east of the Tisza River

The differences in EVI curves applying medium spatial scale were the smallest in Bácska and on Danube Plain (Fig 4.7.). The small differences were related to soil characteristics (high water retention) and favourable water supply conditions. Consequently, the drop caused by the early June rainfall in 2006 was the greatest along

the Danube, due to high groundwater and soils types that retain water. Not only droughts, but also too much water could result in negative biomass production anomalies. The Danube-Tisza Interfluve is highly exposed to droughts as the result of sandy soils with small water retention capacity and low groundwater level, thus in 2006 the EVI production was remarkably high. Besides the Danube-Tisza Interfluve the EVI curves of the region east of the Tisza reflect the greatest annual differences.



Figure 4.7. Biomass curves of various regions based on 16-day composite EVI index images for the corn plot points of the LUCAS database corn fields represented in the LUCAS database. A: Bácska, B: Danube Plain, C: Danube-Tisza Interfluve, D: region east of the Tisza River

Opportunities in high resolution vegetation monitoring by drones

On ortophoto images (made on 16 April 2019) spatial differences within the autumn wheat plots could be detected (Fig 4.8/b, c). The vegetational homogeneity along the edges of the plots is the result of the fact that the same crop is planted on several neighbouring plots, which increases the weed suppressing ability of the crop. One of the reasons of the NDVI spatial anomalies is the difference in soil type that can be observed on satellite images from March (Fig 4.8/a), and the other reason

is the heterogeneous spatial distribution of the different weeds. Crop subspecies and weed species could be separated easily on the RGB image. On the real-colour image the light elongated patches indicate different physical soil properties, where different, mostly disadvantageous water-household situation could develop during droughts. According to the Fig 4.8 (c, d), the precipitation in May supported the development of the vegetation, thus the biomass production of the different subspecies varied even more.

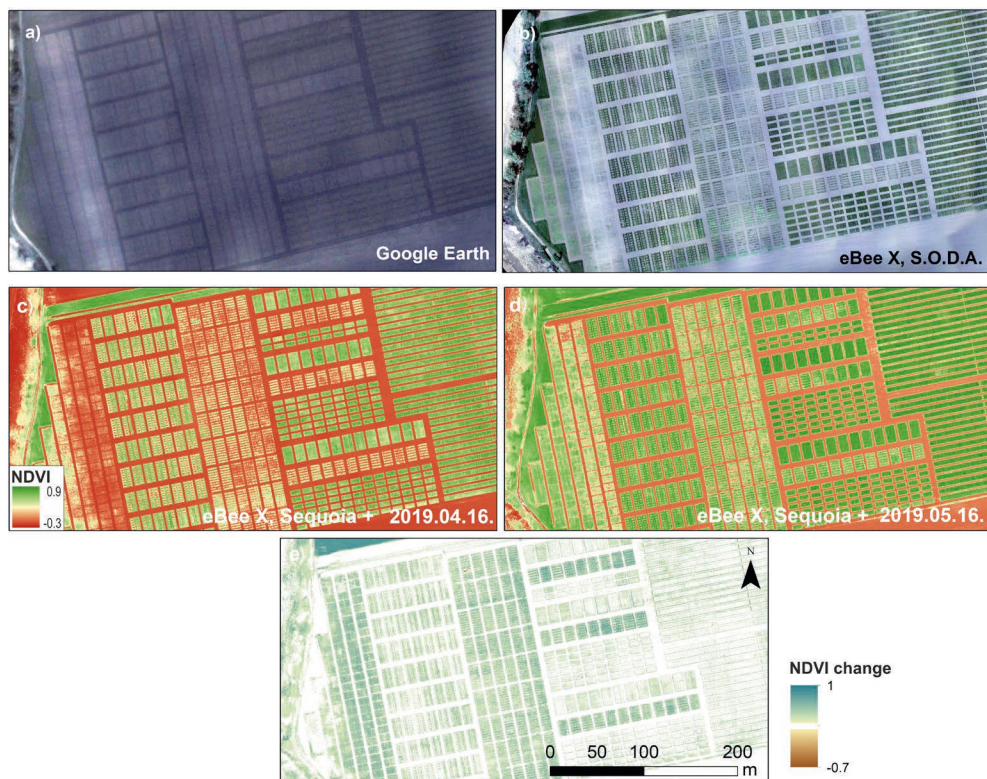


Figure 4.8. Imagery of autumn wheat plots around Szeged a) GeoEye satellite image (GoogleEarth) made on 14 March 2019; b) eBee X RGB drone image using senseFly S.O.D.A taken on 16 April 2019; c) eBee X NDVI drone image using Parrot Sequoia+ taken on 16 April 2019; d) eBee X NDVI drone image taken on 16 May 2019 e) NDVI changes between 16 April and 16 May 2019

The extremes in water supply and the weather conditions also limit the survey. Very strong wind at the beginning of the year hindered the survey, and due to low soil moisture the germination started much later. However, later in May the intense rainfalls and frequent cloud cover caused problems in monitoring. The survey was made on experimental plots, where the negative impacts of soil patches on various crop types were reduced by repetitive randomised or fixed crop plantation methods, so the crop type plots are repeated in various parts of the experimental field (Fig 4.9.).

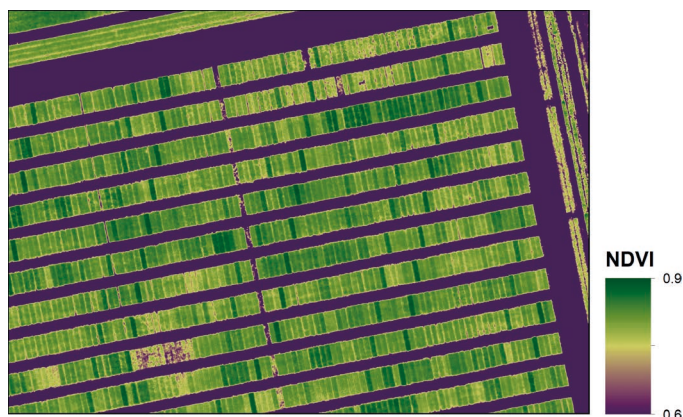


Figure 4.9. *Repetitive crop plantation of various subspecies in the North Eastern part of the experimental field*

Conclusions

The performed environmental monitoring supplied both high and low spatial and temporal resolution data for various land cover categories. The data were carefully pre-processed, thus we were able to make a regional scale analysis applying pixels with homogeneous land cover. The differences in the applied spectral indices applied justify the utilisation of all four index types.

The fundamental differences characterise the biomass production of plots with different vegetation cover, indicating complex processes even within this single landscape forming factor. According to climatological forecasts, in the near future the process of warming will continue, and the extremely dry, drought periods will become more frequent. Consequently, it is very likely that the present decrease in biomass production will become longer. The variability of the indices indicates rapid reactions of the vegetation to the different environmental impacts. The consequences of extremely dry years or periods could be evaluated through careful analysis of deviations in vegetation applying statistics and spatial analysis. In this way the farmers could be supported in taking preventive measures. Our results also proved that there are limitation for corn cultivation in the Danube-Tisza Interfluve.

Due to the complexity of the processes, in aridification research it is advisable to formulate synthesis based practical suggestions. It is a further objective of the monitoring studies to exploit the statistical opportunities in the growing time series. In order to understand the functions of the vegetation better, we should have reveal its relationship with weather and soil parameters, even on a plot level.

The improved remote sensing data provided by several sensors contributed in our new results. With the methodologies applied in the study, the databases can give good results in creating operative, almost real-time and automatic change detection solutions.

5. Agricultural Drought Risk Assessment in Vojvodina

Selecting the Right SPEI Index for Monitoring Agricultural Drought in Vojvodina

Atila Bezdan; Milica Vranešević; Boško Blagojević; Borivoj Pejić;
Jovana Bezdan; Dragan Milić; Nedeljko Tica; Vladislav Zekić

The occurrence of drought in Vojvodina can have serious consequences in agricultural production. There is drought to a certain extent almost every year, and it manifests as a factor that prevents high crop yields (Bezdan, 2014). Since in the geological and climate conditions of Vojvodina's agricultural production is limited by the quantity and distribution of precipitation, drought can have a very negative influence on the efficiency of production (Rajić and Bezdan, 2011).

In the last few years, agricultural production in Vojvodina suffered serious damages. In 2012 financial loss caused by crop damage amounted to 1 billion euros in 45 towns and villages in Vojvodina, in a period when the yield of certain crop types dropped by more than 50%.

At a global level drought is the type of natural disaster that affects the largest number of people directly. Basically drought is an ordinary natural phenomenon that occurs in any climate condition from time to time (Kogan 1997; Wilhelmi and Wilhte, 2002; Wilhite, 2005). Drought forms in those areas where there is considerable precipitation and also in those where there is little rainfall. Drought is a temporary deviation from the average, as opposed to aridity, that is a permanent or long-term characteristic of the climate, and occurs in regions where the precipitation level is low. As a result of the complex system of relationships between climate, hydrological, geological, geomorphologic, ecological and socio-economic factors, it is very difficult to give a universal and full definition of the drought phenomenon (Pereira and Paulo, 2003).

In practice drought is a natural phenomenon that must be studied regionally, from several perspectives, with the involvement of various branches of science. Drought can be defined from meteorological, hydrological, agricultural and socio-economic perspectives (Wilhite and Glantz, 1985; Prohaska, 2006). When we talk about meteorological drought, we mean a long period when the precipitation level is much lower than the longterm average, and when the amount of rainfall is at the lower limits. Hydrological drought refers to those periods when the water flow of rivers is very low, and the water level of reservoirs and lakes is low for a long period of time. In agriculture they talk about drought when the soil moisture level is way below the average, and the water in the soil isn't enough for the development of the crops grown. Socio-economic drought connects the demand for and supply of a given (economic) property with the elements of meteorological, agricultural and hydrological drought.

Drought has differing significance and impact in different fields such as agriculture, water management, hydropower, ecology, etc. For instance the decrease in crop yield resulting from drought formation isn't of the same magnitude with every industrial crop type, because it depends on the water needs and drought resistance of the given crop, the quality of soil cultivation and the water content of the soil. Compared with other natural disasters, drought is different in the sense that it starts slowly, it is difficult to notice and its effects accumulate slowly, during a longer period of time.

In order to simplify the complex phenomenon of drought a little, we detect its occurrence by utilising the drought index. To make the droughts of regions in various parts of the world comparable – which occurred in different historical periods too – it was necessary to come up with a numerical drought indicator (a drought index). Since drought itself can be defined in many ways, it is very difficult to develop some kind of universal index. At the same time due to the complexity of drought, no single index can describe the phenomenon in full (Prohaska, 2006).

There are various drought indexes used all over the world, and one of the most frequently applied indexes is the SPEI – Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index (Vicente-Serrano et al., 2010; Beguería et al., 2014). SPEI is based on the accumulated difference of precipitation and potential evapotranspiration. When preparing this study, we decided to work with this index because the best kind of drought index for studying agricultural drought is the one that is based on rainfall and evapotranspiration at the same time – these are the two fundamental components of the water balance (Moorhead et al., 2015).

In the first stage of the study we examined in Vojvodina how strong the relationship is between the average corn yields – corn is the most widely grown and the most important crop in the region – and the SPEI value calculated for the individual months, so that we can select the right SPEI index for studying the agricultural drought in Vojvodina. In the next phase, based on the cost analysis of corn growing, we estimated the corn yield that makes profitable corn farming possible; then based on the equations set up earlier for the regression, we defined those SPEI index values that indicate possible crop damage. These SPEI values are limit values, which should be taken into consideration when analysing agricultural drought in Vojvodina.

The study focuses on nine towns (Bečej, Kikinda, Subotica, Novi Sad, Sremska Mitrovica, Sombor, Vršac, Zrenjanin and Belgrade) in the 1971-2017 period. We used those towns where the main weather stations of the Republic Hydrometeorological Institute of Serbia can be found. Data on the average corn yield comes from the statistical yearbooks of the Republic of Serbia (Statistical Office of the Republic of Serbia, 2019). When calculating the costs and cost structure of corn growing, we used the method of analytic price calculation (Marko et al., 1998). By applying the regression methodology, we prepared the estimated SPEI index value that indicates possible crop damage. As for the cost calculations for corn farming, we performed them relying on the reports of the Chamber of Commerce of Vojvodina.

Corn is a high yield crop, the most important cereal in the region, which is grown in large areas both for seed and animal feed purposes; it is grown both as the main crop and as undersown crop. In Serbia corn is the most important cereal crop that is grown on 35-40% of cultivable agricultural land, mostly in the flat areas of the

Vojvodina region (Spasojević et al., 1994). Corn can give high yield (more than 20 t/ha). If grown in a large area without irrigation, in the years with medium weather conditions the yield can be 7-8 t/ha; with irrigation farming the yield can be around 10 t/ha.

The development of agricultural production, for instance the growth in agent utilisation, growing new crop varieties, increased herbicide use and more advanced soil cultivation result in improved agricultural output, which means that crop yields are rising (Potopová et al., 2015). In order to be able to analyse the impact of climate conditions exclusively on crop yields, it is necessary to eliminate trends from the times series of yields (Potopová et al., 2015). In the present study we used the method of least squares regression to eliminate trends from the time series of yields. The random errors of the 'trend-free' data series of corn yields were later used to calculate the standardised yield residual series (SYRS) (Fig 5.1).

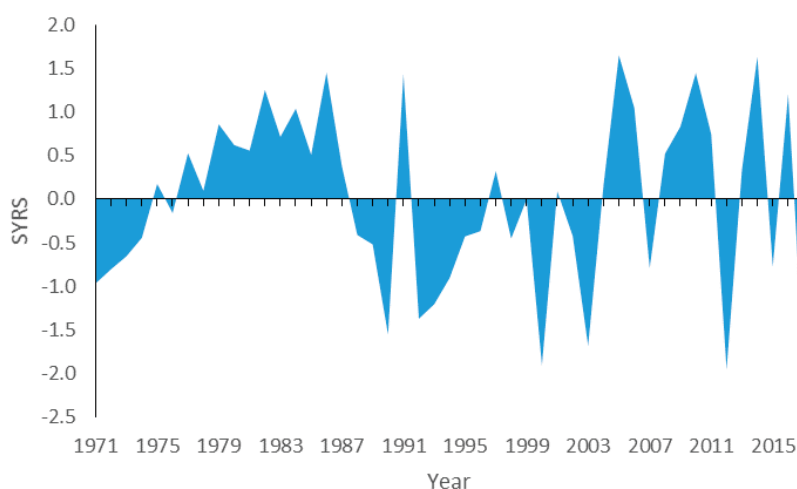


Figure 5.1 Corn's SYRS values in Vojvodina, 1971-2017

Next you can see the results of calculating the correlation coefficients to examine the strength of relationships between the average corn yields in Vojvodina and the average values of the SPEI index (Table 5.1).

Table 5.1 Pearson correlation coefficient for corn's SYRS and SPEI indexes

SPEI1 _{May}	SPEI1 _{Jun}	SPEI1 _{Jul}	SPEI1 _{av}	SPEI1 _{May}	SPEI2 _{Jun}	SPEI2 _{Jul}	SPEI2 _{av}	SPEI3 _{May}	SPEI3 _{Jun}	SPEI3 _{Jul}	SPEI3 _{av}
0.398	0.452	0.517	0.545	0.430	0.547	0.636	0.617	0.543	0.541	0.678	0.659

All values of the Pearson correlation coefficient indicate that there is a strong statistical relationship between corn yields in Vojvodina and the SPEI index, based on the $\alpha = 5\%$ significance threshold. Statistically the yields' relationships are the strongest with the July SPEI3 index and the July SPEI2 index. This is the reason why these indexes are suitable for agricultural drought monitoring in the Vojvodina region. Fig

5.2 and 5.3 show the scatter diagrams and the least squares regression lines of the SPEI3July and SPEI2July indexes of the average corn yields.

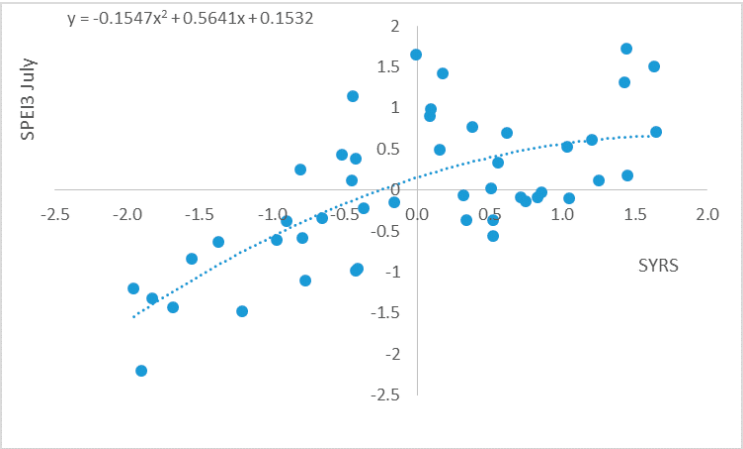


Figure 5.2 Scatter diagram and the least squares regression line for SPEI3 July

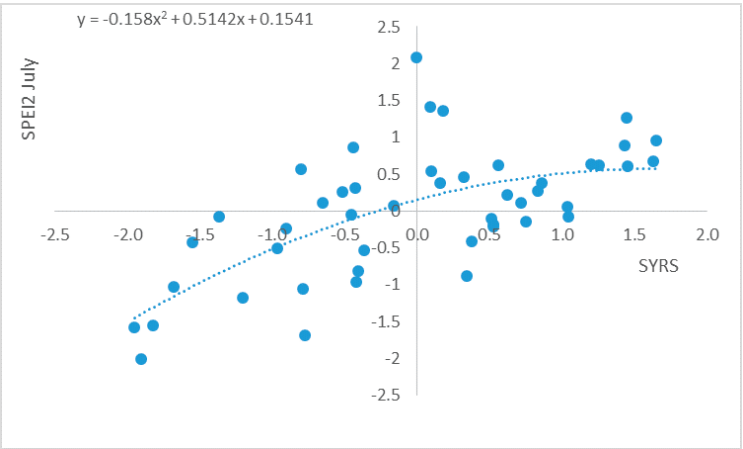


Figure 5.3 Scatter diagram and the least squares regression line for SPEI2 July

Table 5.2 was prepared based on a report by the Chamber of Commerce of Vojvodina on the conditions for crop farming (PKV, 2016), which includes the average corn yields of Vojvodina, the average prices, the value of production, direct costs and the gross profit margin. The data represent an average for the whole of Vojvodina’s territory and refer to the following years: 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 and 2014. Data wasn’t available for other years. Direct production costs include the price of seeds, artificial fertilisers (NPK, UREA, KAN), herbicides and pesticides, and motor fuels. In the years examined, the estimated profitable average yield of corn was 3,880 kg.

Table 5.2 *Calculating corn's growing costs, gross profit margin and profit-generating yield*

	2007	2008	2009	2010	2011	2014
Average Yield (kg/ha)	4050	5235	5900	6710	5990	10000
Price (RSD/kg)	14	10	9,4	18,3	15,7	13
Value of production (RSD /ha)	56700	52350	55460	122811	93908	130000
Direct costs (RSD /ha)	31399	42440	52593	43789	52702	70800
Gross margin (RSD /ha)	25301	9910	2867	79022	41206	59200
Profitable Yield (kg)	2243	4244	5595	2393	3357	5446

According to the preliminary calculations, the critical value of the SPEI3 index for July was 0.52, while the critical value of the SPEI3 index for June was -0.6. Below these index values there is a chance for crop damage and financial loss in the corn farming of Vojvodina.

Drought Risk Assessment

Several authors have studied the concepts of risk, hazard and sensitivity, Blaikie et al. (1994), Knutson et al. (1998), Wilhite (2005), Greiving et al. (2006), Kumpulainen (2006), Petronijević et al. (2010), Bezdan (2014) and many others. One of the simplest risk definitions underlines that risk is the damage caused by some kind of phenomenon multiplied by the possibility of a loss. The likeliness of the event occurring depends on the how strong the natural hazard is. The bigger the natural hazard is, the less likely it is going to occur. A risk's scale is the magnitude of the hazard occurring in a situation. According to Thywissen (2006), the risk of dangerous events occurring is the combination of the likeliness of the hazardous situation's occurrence and its consequences, and usually it can be determined as the series of complex parameters such as hazard, vulnerability, exposedness and resistance. Therefore risk depends on the likeliness of an event's occurrence and on the intensity of the consequences of the event that has occurred. The chances for the risk's occurrence can be very frequent, frequent, rare or zero, while the consequences of the risk can be disastrous, critical, small or negligible.

Numerous types of risk assessment methods exist, and one of the most frequently used methods is based on the formula recommended by Blaikie et al. (1994), in which risk equals hazard multiplied by vulnerability:

$$\text{Risk} = \text{Hazard} \times \text{Vulnerability}$$

They define risk as a potentially harmful physical event, phenomenon or human activity, which results in the loss of lives, injury, property damage, social or economic changes, and environmental damages (UNISDR, 2004).

There can be several sources of the danger: natural or originating from human activity, which is mostly the result of human irresponsibility. Natural hazards are caused by natural phenomena and can be classified as follows (UN/ISDR, 2004):

- geological hazards (earthquake, landslide, tsunami, etc.);
- hydrometeorological hazards (floods, droughts, storms, cyclones, hurricanes, etc.) and
- biological hazards (environmental pollution, pandemics, pest invasion, etc.).

Sensitivity is a very important factor in risk assessment. There are various explanations and definitions for sensitivity, depending on the context. Sensitivity refers to the potential damage and it is a progressive variable, which makes sensitivity forecasting possible, telling what can happen to a population if certain risks and threats occur (Cannon et al., 2005). In a general sense we can define sensitivity as some kind of criteria for possible damages to the system, as a result of being exposed to some kind of threat, pressure or stressor of various origins (Turner, 2003). Sensitivity is a multidimensional (physical, social, economic, environmental, institutional and human) factor. Many of these are difficult to define quantity-wise.

We performed the vulnerability, hazard and risk assessment in a GIS environment. The method we used was the classification, reclassification and overlaying of layers, and we determined weighted factors by using the analytical hierarchy process (AHP). In order to be able to perform the overlaying of layers that (might) contain various data in GIS, the layers had to be standardised and we also had to classify them according to certain criteria. With layers classified based on determined criteria, each layer acquires the same type and the same dimension of data. In this case the input layers were given whole number values from 1 to 5 in the classification, where 1 meant the lowest level of sensitivity, threat or hazard, and 5 meant the highest level of these.

Drought vulnerability assessment

The factors that influence the area's drought vulnerability and the indexes that indicate how sensitive it is to drought were determined based on the natural characteristics of Vojvodina and on anthropogenic effects. We determined the factors that influence the development of drought and the factors that mitigate its effects relying on the data available and on the research work of many authors about drought vulnerability. We were working with the following elements of agricultural drought vulnerability: yield characteristics of the soil, irrigation needs of the crops grown and how the land is used.

Soil fertility and production potential

The productivity of agricultural land is basically its ability to ensure a certain level of yield (Živković et al., 1972). We could say that the productivity of the soil, if it is provided with nutrients, it isn't sodic, it isn't alkaline or boggy, can be determined based on the soil type, subtype (mechanical composition) and rock depth. These were the criteria used to classify the productivity of agricultural land. Four soil classes were specified:

- **1st class** – the most stable soil with highest yield value;
- **2nd class** – the yield value is a bit lower, but with the right cultivation, increased manure use and the necessary soil moisture high yields can be achieved;
- **3rd class** – soil with a low yield value, mostly used for orchards, vineyards, grazing and or wood;
- **4th class** – soil with very low yield value, case melioration steps don't matter from a crop growing perspective, these soils are used as grazing land or forest.

Reclassification (Figure 4) of the soils' fertility and production potential was done the following way: the areas with the best fertility and production potential were given 1st-class vulnerability, the soils with a moderate productivity were classified as 2nd-class vulnerability, soils with a low fertility and production potential became 4th-class vulnerability agricultural land, and those with a very low fertility and production potential ended up in the 5th-class vulnerability category (Fig 5.4). In Vojvodina 34 percent of soils have high fertility and production potential (1), 54 percent of soils are a little less fertility and production potential (2), 11 percent of them have low fertility and production potential (4) and 1 percent of the soils are characterised by very low fertility and production potential and were classified as 5th-class.

Irrigation requirements of the crops grown

We determined the irrigation needs of the crops grown by using the WinISAREG simulation model (Pereira et al., 2003; Parades and Pereira, 2010), which is based on the FAO-56 method of calculating evapotranspiration, water level and irrigation need (Allen et al., 1998). The calculations were done for nine different crops grown (corn, soy, sugar beet, sunflower, potatoes, peas, cabbage, grapes and apple) for nine weather stations in Vojvodina (Bečej, Kikinda, Palić, Rimski Šančevi, Sremska Mitrovica, Sombor, Vršac, Zrenjanin and Belgrade), for the 1971-2017 period. We calculated the evapotranspiration of crops using the coefficients referring to the individual development levels. In order to be able to estimate vulnerability to agricultural drought, the average irrigation needs were put into five equidistant classes, with values ranging from 1 to 5 in the case of every crop. Then we added them up and categorised them into yet another five equidistant classes. As a result of this, we got a map that unites the irrigation needs of all nine crops analysed, and basically works as an agricultural drought vulnerability map according to the criteria (Fig 5.5).

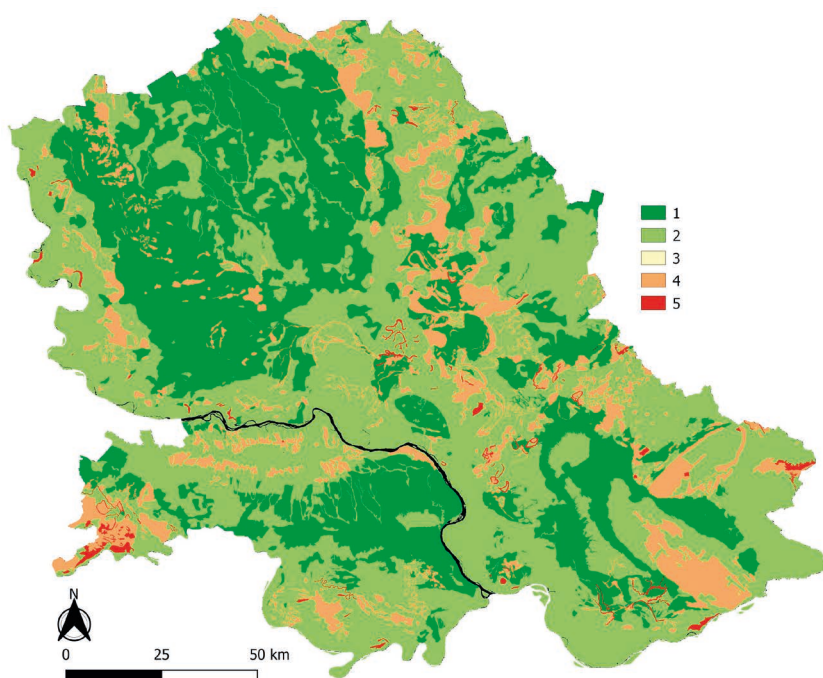


Figure 5.4 Reclassification map of agricultural land in Vojvodina

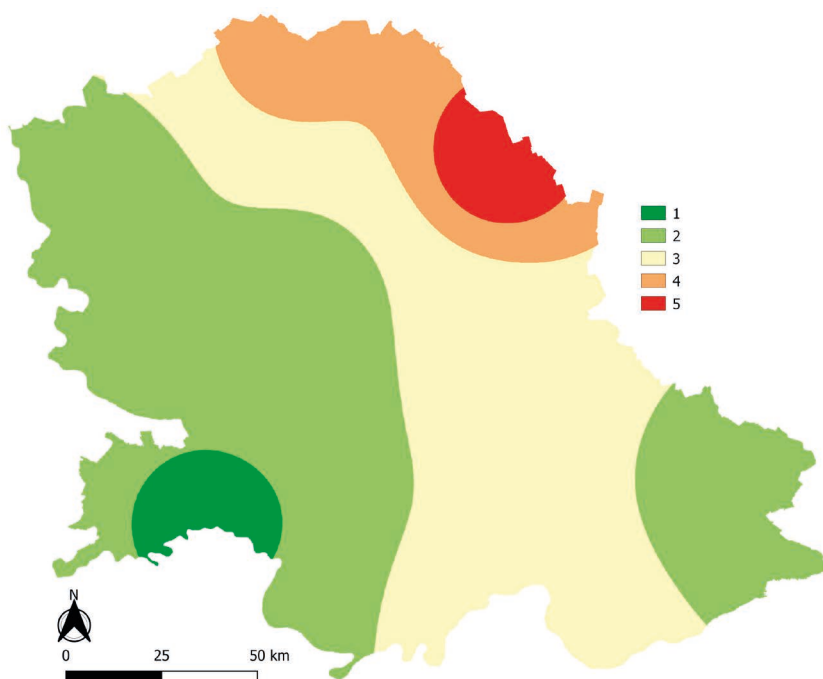


Figure 5.5 Reclassified map of the average irrigation needs of the crops grown

Land cover and land use

We developed the layer that describes how the land is used with the help of the CORINE Land Cover 2012 (CLC2012) land cover database. The reclassification of the CLC2012 land database was done as follows: we set the value of 1 to land categorised as 'Grazing land' and 'Mainly agricultural land with relatively large natural vegetation' – this meant the lowest drought sensitivity level. 'Non-irrigated cultivable land', 'Vineyards', 'Orchard and berry farming' and 'Complex of plots cultivated' were given the value of 2, which expresses a little higher level of vulnerability to drought. We didn't include the remaining land categories in the drought vulnerability assessment (Fig 5.6). What belong here are built-up and artificial areas, woods and water surfaces. Grazing land and agricultural land in large parts covered with natural vegetation got a lower drought vulnerability index than other agricultural land, because in these the vegetation adapts better to the weather conditions (Wilhelmi and Wilhte, 2002).

Determining the values of weighted factors

Certain factors of sensitivity and threat can have either small or great influence on the results of risk assessment, therefore they must be paired with the right weighted values. In the present study we applied the analytical hierarchy process (AHP) for determining the weighted factors.

The analytical hierarchy process – AHP (Saaty, 1980) is one of the most frequently used multifactor analysis methods in supporting decision-making in the agriculture sector (Matić-Kekić and Draginčić, 2013). AHP is a process that ranks decision related problems according to their importance – at the top there is the goal, below that we find the criteria and alternatives are at the bottom. Criteria are evaluated in pairs, compared with the goal, and then the same thing is done with the alternatives – comparing them with each criterion. This means that the evaluation is performed as a pairwise comparison of each factor, the basis of the comparison being the factor located higher at the same level of the hierarchy. The result of each comparison is a numeric value from Saaty's scale of relative importance (Draginčić et al., 2011). Detailed description of associating weighted values by using the AHP method can be found in professional literature (Blagojević et al., 2016a; Blagojević et al., 2016b; Blagojević et al., 2016c; Srdjevic et al., 2015; Blagojević et al., 2014; Bezdan et al., 2019).

For the present study the alternatives – the comparison of vulnerability factors (the soil fertility and production potential, land use and land cover, the irrigation needs of the crops grown) was performed based on the data from professional literature and on the opinions of experts. Applying the AHP method resulted in the drought vulnerability factors being assigned the following weighted values: fertility and production potential of the soil (0.5), the irrigation needs of the crops grown (0.4) land use and land cover (0.1).

The results of the vulnerability factors' weighing with the help of the AHP method indicate that the fertility and production potential of the soil and the irrigation needs

of the crops grown have the biggest impact on agricultural drought vulnerability, while the way the land is used has much smaller influence on it.

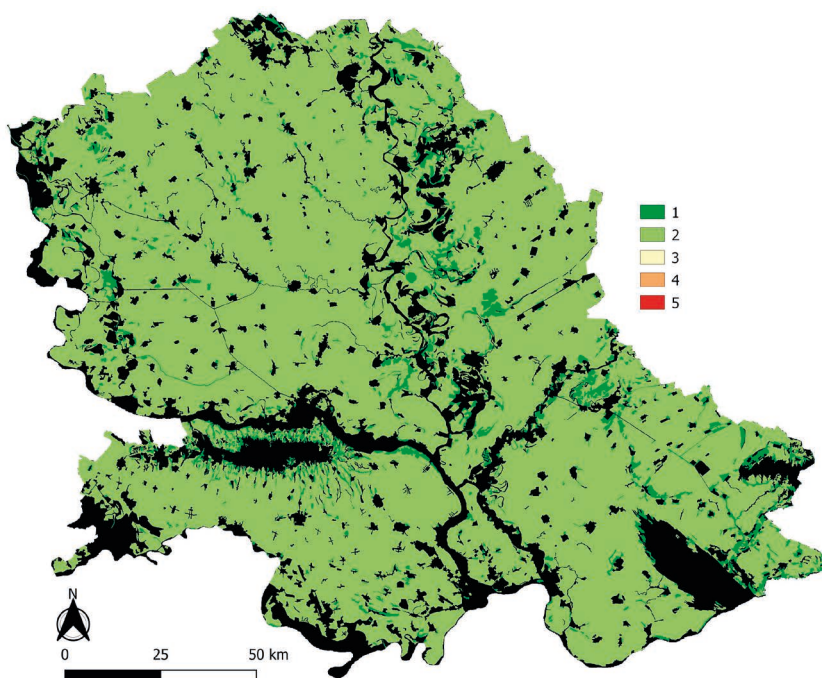


Figure 5.6 *Reclassified land use map*

Agricultural drought vulnerability map

The agricultural drought vulnerability map (Fig 5.7) was prepared by multiplying the raster layers (soil characteristics, topographic features, how the land is used, irrigation needs of the crops grown) of the drought vulnerability factors with the relevant weighted values, and in the next stage by adding up these layers in the GIS and classifying them into the five equidistant categories.

The majority of the territory of Vojvodina, approximately 54% of the area is characterised by low drought vulnerability values (1st- and 2nd-class vulnerability). It is in the Srem and the central and western parts of the Bačka region where the land belongs to the lowest- vulnerability class, where conditions are very good, as the irrigation needs of the crops grown are low and the soil characteristics are very good. From a drought vulnerability perspective, the worst areas are situated in the North East of the Banat region in comparison with other areas of Vojvodina, mainly because of the unfavourable climate and pedology characteristics.

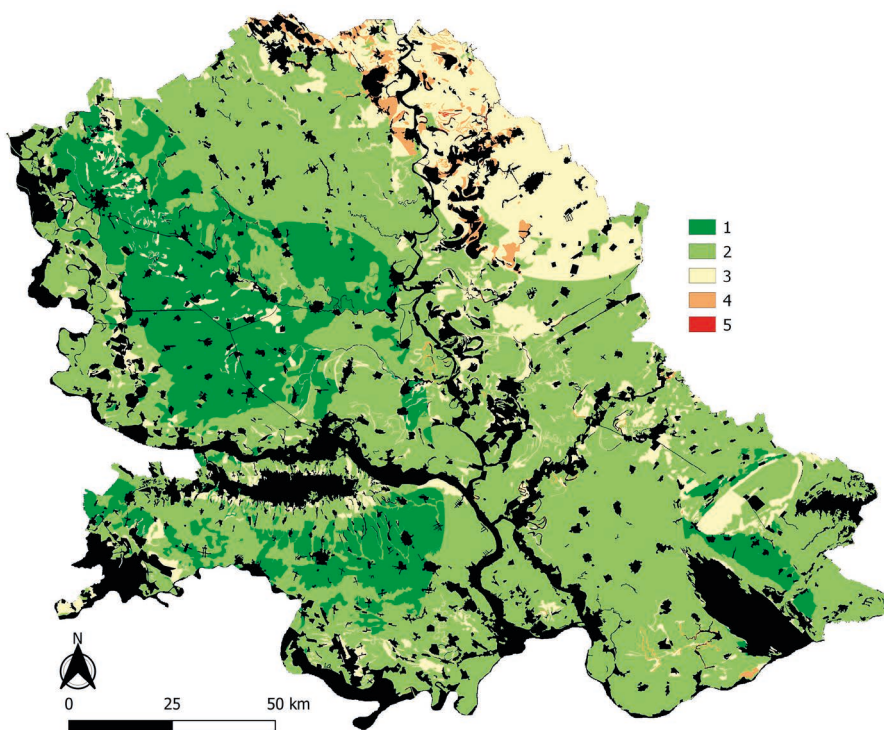


Figure 5.7 Agricultural drought vulnerability map

Drought hazard assessment

In order to be able to forecast drought hazard, we need to select the right drought indexes and the methods for analysing them. The present study analyses the SPEI3 index for July, because earlier analyses showed that this is one of the most suitable indexes for analysing agricultural drought. Generally speaking we can say that the hazard assigns a numeric value to the occurrence of a potentially damaging event. Risk assessment can be performed focusing on intensity or on the probability of a damaging event occurring. This is the principle on which the Drought Hazard Index – DHI is based (Dabanli, 2018; Kim et. al., 2015; Shahid and Behrrowan, 2008). We determined the probability of drought's occurrence based on the occurrence frequency of individual drought categories (Sonmez et al., 2005). As we have already noted it above, we analysed drought utilising the SPEI3 index for the month of July. In accordance with the method of DHI calculation, the drought categories were assigned weighted values, and then each drought category was classified based on occurrence frequency (Table 5.3). The principle was that we associated more intense drought periods with greater weighted values. Likewise, if drought more frequently occurs in a given area, we were calculating with higher values.

Table 5.3 *Weighted value and classification of individual drought categories*

SPEI3 Jul	Drought category	Weight (W)	Frequency of occurrence	Rating (R)
0 do -0.99	Near normal / mild drought (ND)	1	Low	1
			Moderate	2
			High	3
			Very high	4
-1.00 do -1.49	Moderate drought (MD)	2	Low	1
			Moderate	2
			High	3
			Very high	4
-1.50 do - 1.99	Severe drought (SD)	3	Low	1
			Moderate	2
			High	3
			Very high	4
< -2.00	Extreme drought (ED)	4	Low	1
			Moderate	2
			High	3
			Very high	4

The DHI was determined based on the weighted value and the classification as follows:

$$DHI = (ND_w \times ND_R) + (MD_w \times MD_R) + (SD_w \times SD_R) + (ED_w \times ED_R),$$

where ND, MD, SD and ED indicate drought categories, W indicates the relevant weighted value and R stands for the given classification.

The DHI was calculated for each weather station for the 1971-2017 period. We reclassified the DHI values in a way that their values correspond with the 1-5 range, where 1 indicates the lowest hazard rate and 5 stands for the highest rate of hazard. The map in Fig 5.8 contains the results. It shows that the areas in the central part of Vojvodina are exposed to the biggest hazard, while the drought hazard is the smallest in the southern parts.

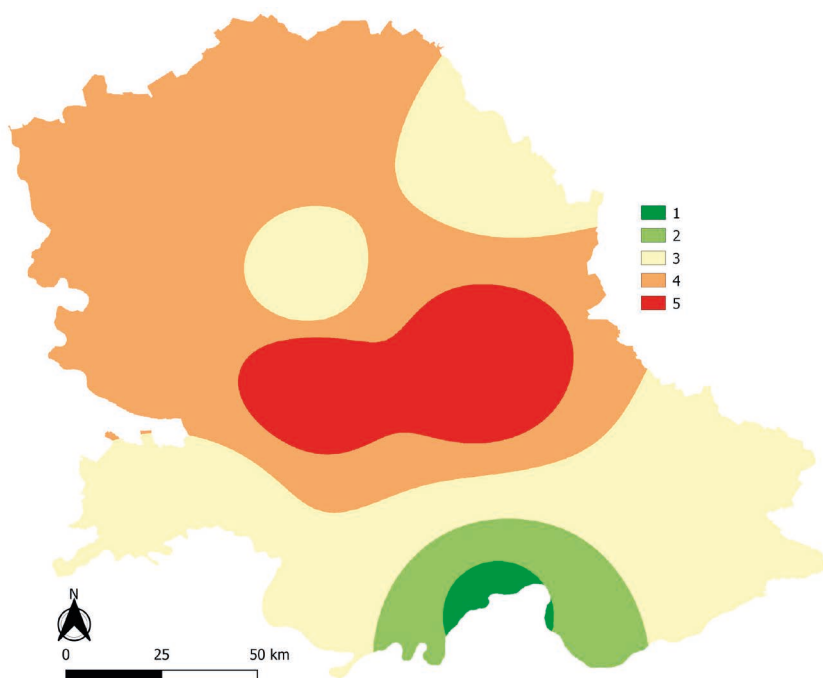


Figure 5.8 Drought risk map based on DHI indexes

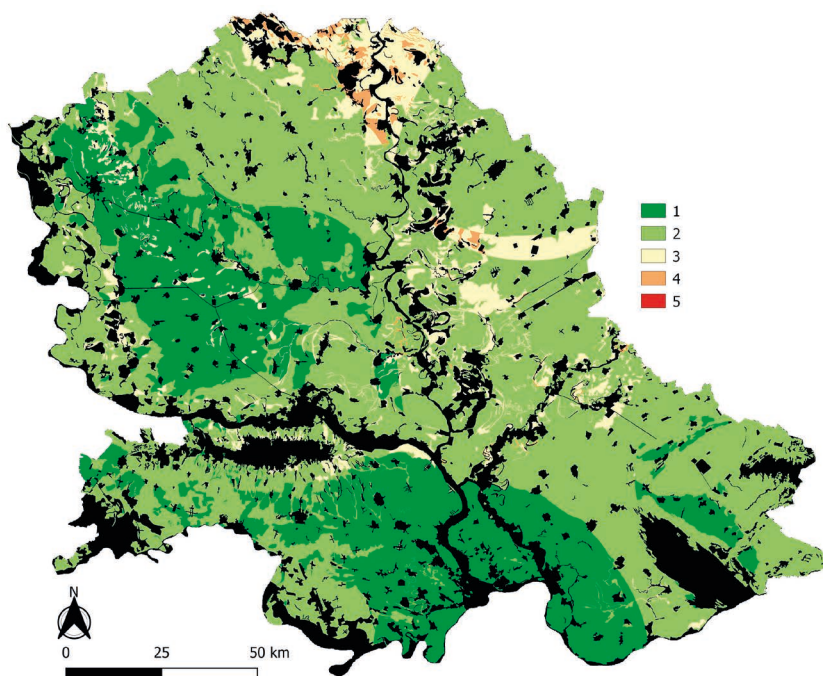


Figure 5.9 Drought risk assessment map of Vojvodina

Agricultural drought risk assessment

Agricultural drought risk assessment is based on the method that risk equals hazard multiplied by vulnerability. In the previous stages we did the agricultural drought vulnerability and hazard assessment. By overlaying these layers in GIS and by multiplying and classifying them, we created the map for five equidistant classes, with the help of which we prepared the drought risk assessment for the territory of Vojvodina (Fig 5.9).

Analysis revealed that the risk for 4th-class agricultural drought is the biggest in the North and North East of Vojvodina. In these regions, in comparison with other areas, the assessed hazard value is the highest and the level of vulnerability is also high, due to the relatively bad soil characteristics and the increased irrigation needs of the crops grown. From the territory of Vojvodina – which doesn't include urban and artificial areas, woods and water surfaces – 2% belongs to the 4th risk class; 8% of Vojvodina qualifies as 3rd-class risk territory, 64% is 2nd class area and 26% falls into the 1st class, where the risk for agricultural drought is the smallest. Thanks to the favourable combination of climate conditions and soil characteristics, the estimated risk is the smallest in the North West part of Vojvodina, around Sombor, and in the South, from Sremska Mitrovica through Belgrade to Vršac.

6. Social and economic impacts of drought and inland excess water in Vojvodina/Serbia

Imre Nagy; Gordana Vuksanović; Minučer Mesaroš; Slobodan Marković; Milivoj Gavrilov; Dragoslav Pavić; Biljana Basarin; Tin Lukić

Introduction

The analysis of numerical data reveals that the number of natural disasters has increased significantly. While only 354 natural disasters were recorded between 2007 and 2016, their number reached 335 in 2017 alone (CRED 2018). At global level the following natural disasters occur most frequently: floods, storms, earthquakes, extreme temperatures, landslides, droughts, fires, volcanic activities and mass movements (dry). According to the source mentioned above, drought represented 4.8% of natural disasters between 1998 and 2017, which ranked this phenomenon the 6th most frequent among natural disasters. Drought occurs much less frequently than storm or flood, but the number of people suffering from its impact is high. For instance 126 floods put 55 million people at risk in 2017, at the same time 7 droughts had an adverse effect on the lives of 10 million people. Estimates of economic loss data reveal more and more severe consequences of droughts. Between 2007 and 2016 droughts caused USD 7.8 trillion worth of economic loss in the world. In 2017 alone the level of economic loss reached USD 2.4 trillion.

Unlike other natural disasters, drought develops slowly and lasts for a long time. The consequences of drought depend not only on its intensity, but also on the level of economic development in the given country. Developed countries are able to mitigate the effects of drought – it is easier for them to cope with the problem. For poor countries drought is often a matter of life and death. They don't have the financial resources that would make it possible for them to mitigate the effects of drought on people and on the economy.

In the Republic of Serbia droughts occur in the North East, the East and the South (Regulation on the national register of environmental indicators, 2011). In comparison with the global mean temperature, the temperature increase is faster in Serbia. Expectedly the mean temperature in Serbia will be 6°C higher at the end of the 21st century, while the global mean temperature will grow by 4.5°C (Vuković, 2006). Consequently this will increase the frequency of droughts and strengthen its negative effects.

In addition to drought, inland excess water also has a negative influence on social development. Inland excess water is accumulated due to two phenomena: rain and/

or melted snow and rising ground water levels. Inland excess water formation is the most frequent in the spring, and just like drought, these waters cause serious damage in agriculture. With a degree of organisation and the necessary technological background, inland excess waters can be used for preventing the negative impact of drought. Unfortunately the level of inland excess water utilisation is rather low at the moment. Between 2007 and 2013 inland excess water's share from total water utilisation was only 12.0-14.0%, and only a little proportion was used for irrigation purposes. (Total water utilisation data for the 2007-2013 period [with the exception of water utilised for hydropower generation].

Empirical research data indicate that the population feels the effects of climate change and natural disasters at three levels: individual / family, municipality and the society as a whole (Vuksanović and Nagy, 2017).

- At the level of individuals some of the most important consequences are health complaints and the feeling of economic insecurity.
- Representatives of the local authorities call attention to the problems that municipalities need to face: deterioration in the quality of infrastructure, lower yield, the population getting poorer and more people ending up in a socially disadvantageous position.
- As for the whole of the society, the economic, social, demographic and environmental problems caused by natural disasters can be identified.

Factors influencing the social and economic consequences of natural disasters

Factors that have an impact on the social and economic consequences of natural disasters can be grouped into three categories: social and demographic characteristics of the population; awareness of climate change and natural disaster issues; educating the population about climate change and natural disasters.

Social and demographic characteristics of the population

As a result of the national level unpreparedness, the municipalities are unable to adapt to the situation. The effects of drought and inland excess water aren't only direct financial damages and human lives lost, but also indirect consequences such as the problems in agricultural production and the depopulation of villages. The social and demographic characteristics of Serbian towns and villages make it difficult to cope with natural disasters. These are the most palpable difficulties (Vuksanović and Nađ, 2017):

- Depopulation of villages and the aging of those who stay there. For instance in Sečanj 30% of the population were of old age at the time of the 2005 flood (Vuksanović, 2011).
- Leaving village communities behind and people moving to urban communities.
- High proportion of the population needing healthcare treatment.
- High proportion of the population living with physical disabilities. During the flood there were 60 physically disabled people living in Sečanj (Vuksanović, 2011).
- Underdeveloped infrastructure (run-down roads or the lack of roads; the lack of plumbing and sewerage system or these systems being obsolete...).
- No investment in the existing infrastructure.
- Certain institutions are forced to close because of the depopulation process – the first to do so are usually educational and cultural institutions.
- Due to the closure of educational and cultural institutions, the chances for educating the already small population reduce.
- Because of these changes the human factor becomes problematic when a disaster occurs. The human potential narrows down to the small number of medium- and old-age inhabitants.
- Uncultivated lands increase the danger of fire.
- Equipment that can be used in case of a natural disaster becomes obsolete; the machines aren't maintained and lose their functions.
- Due to the lack of maintenance flats and houses deteriorate, and they become more vulnerable to natural disasters.
- The bad financial situation of most households influences 'the speed at which a town or village reacts to mitigate the negative effects of a natural disaster...'

Awareness of climate change and natural disaster issues

Having adequate information makes it possible to prepare in time, to reduce financial and human loss, and to evacuate the properties of the inhabitants. Without preparing in advance, the chances are bigger for losses and the stress level increases too.

According to a survey conducted in Kanjiža, the majority of respondents (71.5%) reckon that they don't receive enough information from the authorities about potential natural disasters. More than half (55.1%) said they don't know where they can get information about possible natural disasters and how to prepare for them (Vuksanović and Nađ, 2017).

Educating the population about climate change and natural disasters

In Serbia people aren't provided with information about climate change and natural disasters, or they only receive information via volunteer groups, such as the activities of the fire brigade. According to a member of the municipal council in Kanjiža who is responsible for emergencies, the population of the town learn what they must do in case of emergency 'from the members of the volunteer fire brigades. These associations have 220 members in total, who are very well trained for performing protective and rescue tasks' (Vuksanović and Nađ, 2017).

The director of the School of Agriculture in Kanjiža opines that even if there was some kind of information providing by the relevant authorities, the population wouldn't accept it: 'The Ministry for Environmental Protection had sent us a brochure which we distributed among the students, so that they would take it home and show it to their parents. This brochure contains the description of various types of emergencies and their potential threats to the population. The phone numbers people should call in such situations are also included. Well, the students took the brochures home, but their parents weren't interested in it at all. All they want to know about during the regular parent-teacher consultation is their children's progress.'

It also shows how little people care about the work done by organisations active at the time of natural disasters that 73.7 percent of respondents have never participated in preventive work before, and 88.0 percent of people aren't members of either civil protection organisations or volunteer fire brigades (Vuksanović and Nađ, 2017).

Besides the individuals being uninterested, the same survey revealed that 62.0% percent of respondents were of the opinion that they weren't prepared enough or fully for the situation of a natural disaster, and 33.2% said they were completely unprepared.

In Kanjiža the population is provided with information about what to do when a natural disaster occurs when they study in primary and secondary schools, but the plan is to involve pre-school institutions too. Fire emergency practices are organised in schools. 'It is very important to teach the students about the potential risks of fire, because they can be very dangerous at the times of drought. A burning cigarette thrown away on purpose can cause a catastrophe. Drought is an extraordinary situation, just like the spring periods when the rainfall is above the average. Thanks to the dikes the river itself isn't a threat to us, but inland excess waters did accumulate in the fields, due to the rising of the groundwater level. People are doing construction work to stop the river, but the water must flow somewhere and if this can't happen naturally, it will spring to the surface in the towns and in the fields' – informed the director of the School of Agriculture in Kanjiža.

Consciousness about climate change

Various types of media and their contents disseminate knowledge about climate change and its consequences: 'As regards global climate change and the reasons behind it, almost everyone has some kind of information because there are several popular science programmes on television that discuss the topic. However, my personal experience is that people think about climate change as it was some kind of distant and abstract thing. Many people think that their lifestyle doesn't influence the general processes – and this definitely isn't the right attitude in the long run' – told a civil society member (Vuksanović and Nađ, 2017).

According to the research mentioned above, women feel the effects of climate change in everyday life much more than men, the elderly or young people.

It is possible that due to the lack of knowledge about the possible disaster, there will be complete unpreparedness and chaos when it occurs. If evacuation will have to be performed, it will only mean rescuing the inhabitants.

Economic consequences of a potential climate change

Recent surveys (WAHASTRAT¹) have studied what the population thinks about drought as a natural disaster, why it occurs, what its consequences are (*the consequences are becoming stronger, ranking of the most important measures that need to be taken to mitigate the effects of drought, managing the problems caused by the drought*), how the drought influences the lives of locals, what kind of influence it has on agricultural production, and to what extent the current structure of agricultural production can be retained.

Research on inland excess water (MERIEXWA²) analyses the significance of climate change from the perspective of inland excess water accumulation; what do the population think about the consequences of floods and inland excess waters, and what kind of solution they expect (how to overcome the difficulties, what steps to take).

Research on Climate Change – Economy – Society includes:

- The opinion of the population (climate change compared with other problems of the society, who should participate in solving the problem of climate change)
- Noticing climate change (recognising the phenomenon);
- Contributing (financially) to solving the problems caused by climate change
- People's attitude towards climate change (Czirfusz et al. 2015).

1 Water shortage hazard and adaptive water management strategies in the Hungarian-Serbian cross-border region

2 Measurement, monitoring, management and risk assessment of inland excess water in South East Hungary and North Serbia

Drought and inland excess water have serious consequences in agriculture. The more severe the drought is and the less inland excess water utilised, the more negative the effect they have on agricultural production.

Whether the adverse effects of drought manifest in agricultural production or not depends on: soil characteristics, groundwater level, lack of precipitation, crops grown, temperature, soil cultivation, etc. If we compare the high yielding year of 1991 and the drought-ridden year of 2003, we can see the differences in yield, crop value and loss (Table 6.1).

Table 6.1 *Annual losses and crop yield in Vojvodina*

Crops	Yield (t/ha)		Production value (thousand USD)		Production loss (thousand USD)
	1991	2003	1991	2003	
Wheat	4.5	2,2	351.000	171.600	179.400
Corn	5,9	3,2	757.030	384.930	372.100
Sunflower	2,2	1,8	59.400	48.600	10.800
Soy	2,6	1,7	93.236	60.960	32.276
Sugar beet	44,9	27,0	60.615	36.450	24.165
TOTAL			1.323.272	704.543	618.741

Source: Jaroslav Černi Water Management Institute, Water Supply Institute, Serbian Water Resources Directorate, 2009.

Unfortunately it isn't only the quantity and quality of crops grown that suffer from the impacts of drought and inland excess water. E-magazine *Agroklub* published articles on drought in 2015, 2016, 2017 and 2018, and an analysis of these reveals a series of social consequences caused by this type of natural disaster. The conclusions are based on the experiences of farmers and agricultural cooperatives, and on various estimates.

Data is scarce on the social and economic consequences of inland excess water. To put it briefly, there are no systematic and interdisciplinary scientific research results available.

When studying the social consequences of drought, it must be taken into account that its effects are magnified by related phenomena such as hailstorm and extremely strong wind. Some of the most important consequences can be:

- Decreasing yields, lower crop quality (reducing nutritional value)
- Young crops desiccate on newly utilised arable land, leaves and shoots desiccate on farmland used for a longer time
- Drought in July and August affects the bud formation of fruit trees
- Various crop diseases occur

- Deterioration in the quantity and quality of silage
- Poor quality of grazing land
- Decreasing quantity of animal feed causes problems in the feeding and breeding of livestock
- The price of produce increases due to the reduced availability
- More expensive produce entails smaller purchasing power for the poorer members of society
- There are more fires at the time of drought
- Because of the instability in production and the frequency of losses, many people quit farming or the size of cultivated land and livestock decreases.

Taking into consideration that we must face the problems of drought and inland excess water on a permanent basis, our task is to start programmes that make it possible to prevent the negative consequences of drought or at least to mitigate them, utilising inland excess waters when there is drought.

7. The Čurug-Žabalj Drainage System

Atila Bezdan, Olivera Gavrilović, Milan Njegomir, Aniko Blažević,
Duško Janković, Milica Vranešević, Boško Blagojević, Pavel Benka

Description of the location

The Čurug-Žabalj catchment (Fig 7.1 and 7.2) is situated in the South East of Bačka. On the East it is bordered by the river Tisza, on the South and the West there is the Jegrička canal and the village Nadalj, while on the North it is bordered by the village Bačko Gradište and a Tisza oxbow. It covers an area of five cadastral villages and from a hydrographical perspective it forms a single unit.

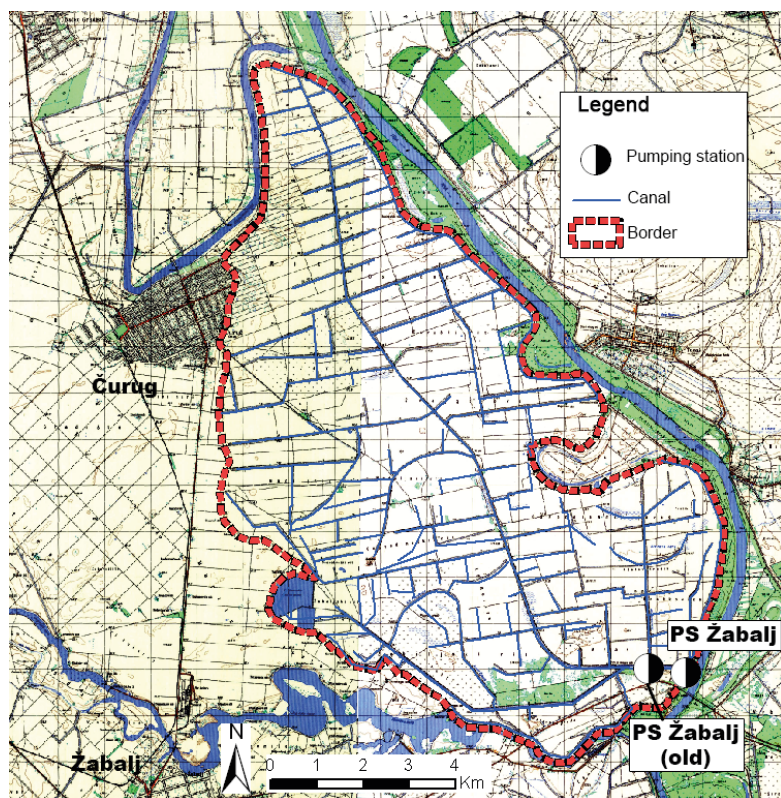


Figure 7.1 Map of the Čurug-Žabalj catchment

From a topographical, geological and hydrological perspective, the area can be divided into two characteristic parts:

- The western part of the area, which is a 11,236 ha loess terrace, its average height above sea level is 81.00, its groundwater level amplitude is 76.00 – 77.00.
- The eastern part of the area, which is 9,500 ha and the Čurug-Žabalj meadow can be found here. Its average height above sea level is 74.00 and it is protected from the water of the river Tisza with a dike.

Chernozem is the soil of the loess terrace, while the meadow – which used to be floodplains of the river Tisza – has a soil from river sediment, mostly it is clay and clay earth, while the parts located deeper are sandy, with the soil being lenticular at places and mixed with material characterised by low permeability.

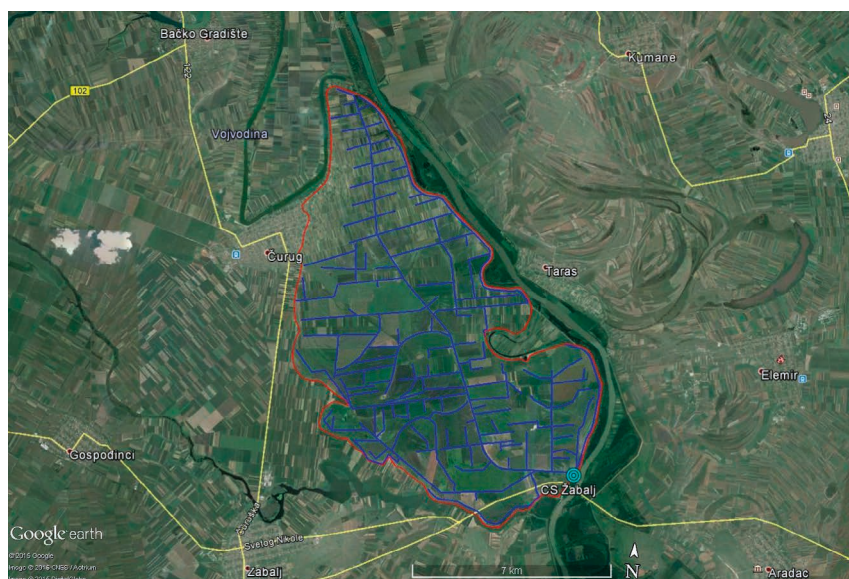


Figure 7.2 Satellite image of the Čurug-Žabalj catchment (Google Earth)

As regards height, there are two characteristic terraces in the area. The first one is 'low' with its height points at 73.00 – 75.00 m and the eastern part of the Čurug-Žabalj area belongs to it, the part along the river Tisza. The second one is the 'high' terrace, the western part of the area, where the height points are located between the absolute heights of 79.00 m and 83.00 m.

In a large part of the meadow the groundwater level is high, and in the spring large surfaces of the land are covered with water for a long time. The bad chemical composition of the groundwater degrades the soil and it is losing its productivity. Due to the unfavourable topographic location of the catchment, the permeable soil is saturated with groundwater of foreign origin: this is true for the high loess terrace and the water comes from the Jegrička permanently, while the water from the river Tisza and the Tisza oxbow flows here from time to time, keeping the active soil layer too

wet. Drainage of surface waters is also an issue when discussing the Čurug-Žabalj catchment – these accumulate in the depressions in the spring and after heavy rain-falls, and they cause problems in agricultural production.

Geomorphologic and geologic characteristics of the area

From a geomorphologic perspective this area, just like the whole of Bačka, belongs to the Carpathian Basin, which is surrounded by the Carpathian Mountains, the Alps and the Dinaric Alps. The present forms of the Carpathian Basin were created by external and internal forces, and this is also reflected in the height. River Tisza's inundant plain is situated in the lower part of the catchment, and the higher part is the loess terrace that is covered with loess and loess type material.

The catchment area can be divided into two parts, which aren't only different because of their heights, but also due to their morphologic forms, compositions and the way they were formed. Based on their characteristics, we can differentiate between two morphologic units: the loess terrace and the inundant sediment part.

Pedologic characteristics of the area

When mapping the area, 12 types, subtypes and variants of soil were identified here – you can see these in Fig 7.3 (Pantelić, 1966).

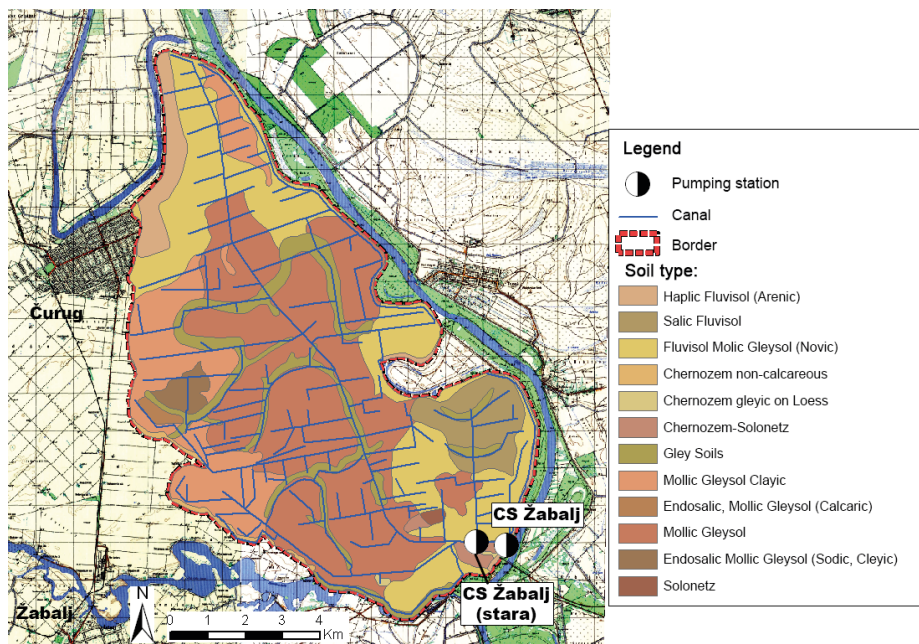


Figure 7.3 Pedologic map of the Čurug-Žabalj catchment

Pedologic data indicate that the first problem to be solved in the area is drainage, and the measures that need to be taken for improving the productivity of the soil should follow only after this.

Fundamental characteristics of the drainage system according to the 1966 plans

The main plan from 1966 divides the Čurug-Žabalj area into three subsystems. Drainage of the meadow is taken care of by a 9.50 m³/s capacity pumping station, while in the other two subsystems gravity sewers are utilised to lead the water into the Tisza oxbow and the regulated Jegrička canal (Pantelić, 1966).

In certain parts of the canal network, when the necessary drainage was determined, and when the canals and structures were designed, those modules were utilised which had been specified in the draft plan for the Čurug-Žabalj water drainage system; it was documented that the drainage model for the meadow was changed from 0.90 l/s/ha to 1.00 l/s/ha.

In accordance with this, draining water originating from winter precipitation and long rainy periods, when the whole catchment area is used, was performed based on the following drainage modules:

For the meadow: $q_r = 1.0$ l/s/ha

For the terrace: $q_t = 0.5$ l/s/ha

The water drainage modules mentioned are suitable of removing winter waters within 15 days if calculating with 10-year precipitation maximums.

The drainage canal system is made up of open, trapezoid cross-section earth canals, which have the following size characteristics:

- the minimum width of the bottom is 0.50 m,
- the minimum work depth of the water in the depressions is 0.50 m below the surface,
- the minimum depth of the canal is 1.00 m,
- the gradient of the canal wall from 1 to 2 metres is 1:1.25, from 2 to 3 metre depth is 1:1:1.50.

Run-off coefficient and the hydro-module of the drainage

According to the main drainage plan of the Čurug-Žabalj catchment from 1966, the Nemet and Turazzi formula was used for determining the run-off coefficient and the drainage module. This method isn't featured in contemporary professional literature, but back then it was used for analysing catchments in Vojvodina and Hungary, and for designing drainage systems. In the following you can see several relative numbers, which were used in analysing the Čurug-Žabalj catchment area (Pantelić, 1966).

The starting equation for the medial hydro-module of the drainage system:

$$q_s = 0,1157 \cdot \frac{\alpha \cdot h}{t + \tau}$$

Where: q_s – is the medial hydro-module of drainage ($\text{l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$), α – run-off coefficient, h – relevant precipitation level (mm), t – relevant precipitation time length (days), τ – reach time, the path of a drop of water from the remotest part of the catchment to the reservoir (days).

If we multiply the equation above by the coefficient that indicates the ratio of maximum and medium run-off, which is 1.7 in the conditions that apply to Hungary (it can be used for Vojvodina too), we get the per unit hydro-module for maximum drainage - q_{\max} ($\text{l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$):

$$q_{\max} = 0,1157 \cdot \frac{\alpha \cdot h}{t + \tau} \cdot 1,7$$

The run-off coefficient plays an important role in determining the hydro-module for the run-off. Several factors need to be known for determining this, such as: permeability, gradient, land cultivation method, type of soil surface. In the main plan for the Čurug-Žabalj drainage system (Pantelić, 1966), we can read that the functional changes in the run-off coefficient on a monthly basis are caused by the following:

- (1) land gradient (α_1);
- (2) soil's permeability (α_2);
- (3) land cover (α_3).

For determining the partial coefficients of run-off, the values are provided in Table 7.1, 7.2 and 7.3, where the relevant values of the water flow specified in relation to the gradient, the permeability and the vegetation that covers the land can be found. The run-off coefficient equals the sum of the three coefficients given.

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3$$

Table 7.1 *Partial run-off coefficient in relation to the land gradient (α_1)*

Terrain slope	Coefficient α_1
>35 %	0,22 – 0,25 – 0,30
11 – 35 %	0,12 – 0,18 – 0,20
3,5 – 11 %	0,06 – 0,08 – 0,10
<3,5 %	0,01 – 0,03 – 0,05

Table 7.2 *Partial run-off coefficient in relation to the soil's permeability (α_2)*

Soil permeability	Coefficient α_2
Very low permeability	0,22 – 0,26 – 0,30
Moderate permeability	0,12 – 0,16 – 0,20
Permeable	0,06 – 0,08 – 0,10
Very permeable	0,03 – 0,04 – 0,05

Table 7.3 *Partial run-off coefficient in relation to the vegetation that covers the land (α_3)*

Vegetation cover	Coefficient α_3
Bare soil	0,22 – 0,26 – 0,30
Marsh, pastures	0,17 – 0,21 – 0,25
Cultivated land	0,07 – 0,11 – 0,15
Forest and seminatural areas on sands	0,03 – 0,04 – 0,05

They used the pedologic map of Vojvodina for determining the α_2 partial coefficient (Živković et al., 1972). Defining the α_2 partial coefficient was done based on the proportions of various soil types and their permeability levels in the given area. In his study Miljković (2005) classifies soil into drainage categories, based on its chemical characteristics. He created the following five drainage classes and described them as follows:

- (1) 1st drainage class – soil with naturally weak drainage characteristics, so its surface is very much threatened by excess water;
- (2) 2nd drainage class – soil with naturally weak drainage characteristics, so its surface is under medium level threat from excess water;
- (3) 3rd drainage class – soil with naturally insufficient drainage characteristics, so its surface is moderately threatened by excess water;
- (4) 4th drainage class – soil with a lighter texture, which has a moderate natural drainage capacity, so its surface is under a low level of threat from excess water;
- (5) 5th drainage class – soil with a light texture, which has good natural drainage characteristics, so its surface isn't threatened by excess water – it doesn't require drainage.

The value of the α_3 coefficient was determined by analysing the land cover map with the help of CORINE Land Cover 2012 (EEA, 2012). This map contains data on how the land is used and on the size of the plots. Land cover data can be extracted by using the database codes and the CORINE nomenclature (Nestorov and Protić, 2006). Analysing data on the area and creating the map was done using GIS methods.

In the case of both individual plots and large areas, determining the effective precipitation level – which is used in forecasting floods – must be based on high intensity (storm) precipitation time periods or on the time period of the water flow's concentration (Gericke and Plessis, 2011). The time period of the water flow's concentration (τ) is a key time factor in the catchment system's reaction, which is necessary for forecasting the maximum run-off volume (Perdikaris et al., 2018). The time period of the water flow's concentration (τ) indicates the time a drop of rain needs to get from the remotest part of the catchment to the reservoir – in the project (Pantelić, 1966) this was determined by Venturi's equation, in relation to the surface of the catchment area:

$$\tau = 0,315 \cdot \sqrt{F}$$

Where F – is the territory of the catchment area in km².

The relevant precipitation level was calculated by using Montanari's climate function, and it is calculated separately for each area analysed:

$$h = a \cdot t^n$$

Where: h – is the relevant precipitation level (mm), a and n – constants, which depend on the hydrologic characteristics of the area analysed, while t indicates the time length of precipitation (in days).

According to Rajić and Josimov-Dunđerski (2009), the following coefficients are valid for the territory of Vojvodina, $a=64$ (this indicates the average maximum daily rainfall in Vojvodina) and $n=0,415$ – this means that Montanari's function looks like this:

$$h = 64 \cdot t^{0,415}$$

Based on Montanari's function and the concentration time of the catchment (τ), the formula for the relevant precipitation time period is:

$$t = \frac{n}{1-n} \cdot \tau$$

In the project (Pantelić, 1966) the time period of the relevant precipitation was determined by the time analysis of the precipitation diagram t and the analysis of the raindrop's reach time. Three scenarios are characteristic of a given catchment:

- (1) The time period of the rain equals the reach time ($t=\tau$);
- (2) The time period of the rain is longer than the reach time ($t>\tau$);
- (3) The time period of the rain is shorter than the reach time ($t<\tau$);

Maximum per unit water flow occurs when the duration of the relevant rain is longer or equals the reach time, namely that $t \geq \tau$. Analysing consecutive rainy periods occurring for several days, the project calculates that the relevant period of rain is $t = 3$ days. The engineers used this relevant rain value for further calculations for the hydro-module of drainage.

Determining the run-off coefficient and the water drainage module – utilising the empiric formulas of Németh and Turazzo – was based on analysing the current conditions dominant in the catchment area. The most demanding part of the method was providing the most accurate definitions of the partial run-off coefficients, which were given as a function of land gradient (α_1), soil permeability (α_2) and land cover rate (α_3).

Having analysed the plan documentation, based on the longitudinal cross-section of the Main Canal – it is in this canal that all the water from the analysed catchment flows to the pumping station in Zsabya – the mean value of the canal's gradient was determined, which was 0.011%. Taking the calculated mean value and the fact that we are talking about a flat area as the starting point, from Table 1 the minimum value of $\alpha_1=0.01$ was accepted as the land gradient coefficient.

The soil permeability partial coefficient (α_2) was determined based on the soil types characteristic of the area and on the drainage features of the different soil types. Table 7.4 contains how the complex value of the α_2 coefficient was determined. The soil permeability coefficient for the whole catchment was calculated using the proportions of various soil types and the values from Table 2 assigned to them – the coefficient's value is $\alpha_2=0.22$.

Table 7.4 *Partial coefficient in relation to the soil's permeability (α_2)*

Soil type	%	Drainage class	α_2	Complex value of the coefficient α_2
Fluvisol Mollic Gleysol (Novic)	25,45	II	0,16	0,04072
Haplic Fluvisol (Arenic)	3,74	III	0,08	0,00299
Salic Fluvisol	4,98	II	0,16	0,00797
Endosalic, Mollic Gleysol (Calcaric)	0,46	I	0,26	0,00119
Mollic Gleysol	38,92	I	0,26	0,10119
Endosalic Mollic Gleysol (Sodic, Cleyic)	1,30	I	0,26	0,00339
Mollic Gleysol Calcaric on Loess terrace	0,01	IV	0,04	0,00000
Mollic Gleysol Clayic	13,73	I	0,26	0,03569
Chernozem-Solonetz	0,85	III	0,08	0,00068
Solonetz	0,22	I	0,26	0,00058
Chernozem non-calcareous	0,72	IV	0,04	0,00029
Chernozem gleyic on Loess	0,22	IV	0,04	0,00009
Gley Soils	9,38	I	0,26	0,02439
Solonchak	0,01	I	0,26	0,00003
Chernozem calcareous on Loess terrace	0,02	V	0,05	0,00001
$\Sigma=$	100			0,21921

The CORINE Land Cover 2012 database was used to determine the partial coefficient (α_3) that depends on the level of vegetation in the given area; this includes information on how the land is used and what its characteristics are. Fig 7.4 presents lands used for different purposes and having different characteristics.

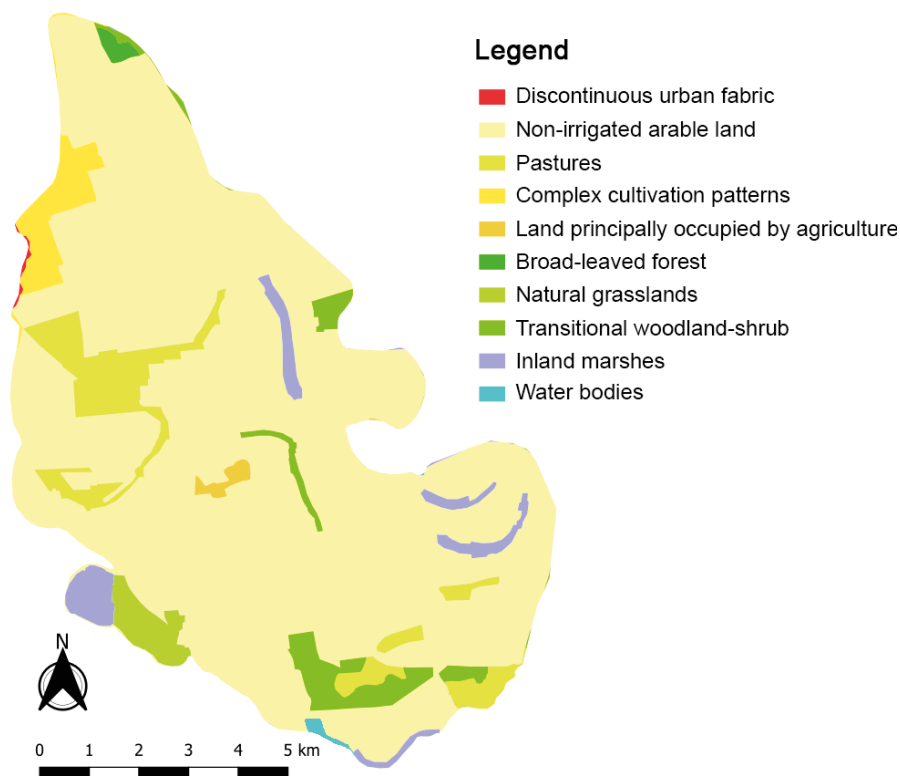


Figure 7.4 CORINE Land Cover 2012 map: land cover of the Čurug-Žabalj catchment area – land use and characteristics

Analysis of the land use and characteristics revealed that in the territory of the Žabalj subsystem the largest proportion of land, 85% is arable land that isn't irrigated. Table 7.5 contains the proportions for other land types and the how the complex value of the α_3 coefficient was determined. The accepted value for the land cover rate, which is valid for the whole catchment, is $\alpha_3=0.11$. Complete run-off coefficient for the area examined: $\alpha=0.34$. This run-off coefficient value is smaller than the value used in the 1966 project, which – in accordance with the conditions back then – was $\alpha=0.43$.

Table 7.5 Calculating the partial coefficient in relation to land cover rate (α_3)

Cover type	%	α_3	Complex value of the coefficient α_3
Discontinuous urban area	0,09	0,30	0,00026
Non-irrigated arable land	85,26	0,11	0,09379
Pasture	5,50	0,21	0,01154
Complex cultivation patterns	0,11	0,11	0,00013
Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation	0,41	0,11	0,00046
Broad-leaved forest	0,66	0,04	0,00026
Natural grassland	1,54	0,21	0,00323
Transitional woodland/shrub	3,36	0,04	0,00134
Inland wetlands	2,78	0	0
Water bodies	0,28	0	0
$\Sigma=$	100		0,11102

The calculated concentration time of the catchment is (τ) 3.06 days.

Supposing that maximum per unit run-off occurs when the relevant rain's time period is longer than or equals the time of the catchment's concentration, namely that $t \geq \tau$, the relation accepted for further calculation is $t = \tau$, which means that $t = 3.06$ days.

Based on Montanari's function and on the coefficients valid for the territory of Vojvodina, the relevant precipitation level was calculated, which is $h = 101$ mm. After this the hydro-module for the water drainage was calculated, which reflects the current situation of the catchment:

$$q_{\max} = 0,1157 \cdot \frac{0,34 \cdot 101}{3,06 + 3,06} \cdot 1,7 = 1,1 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$$

Table 7.6 contains the comparison of the newly calculated values and the data from the Čurug-Žabalj catchment area's water drainage project (Pantelić, 1966). The results show that the hydro-module for the drainage is $q_{\max} = 1.1 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$, which describes the current situation of the catchment – this is very close to the $q_{\max} = 1.0 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ value accepted in the project.

Table 7.6 Comparison of the project's values and the newly calculated values

Parameter	Designed values (Pantelić, 1966)	New values	Unit
α_1	0,01	0,01	-
α_2	0,25	0,22	-
α_3	0,17	0,11	-
α	0,43	0,34	-
t	3	3,06	day
τ	3,06	3,06	day
h	71,6	101	mm
q_{\max}	1,0	1,1	l/s/ha

The results indicate that the current drainage solution of the catchment is very close to the system presented in the project. What the results indicate in this situation is that the system's capacity is sufficient if compared with the conditions currently prevailing on the territory of the catchment. As for the problem of excess water – which stays in the catchment area even after the evacuation period expired – regular maintenance of the melioration-purpose canals and taking additional melioration measures are of key importance. Since water run-off is more difficult in the case of soils with a 'heavier' mechanical structure, in situations like this using a horizontal drainage pipe system or an organic drainage solution must be considered (Vranešević et al., 2017). Taking into account the complexity of the drainage system of the Čurug-Žabalj catchment area, by using the current infrastructure and by taking steps to improve the situation of the catchment using melioration techniques, utilising the maximum agricultural potential of the area seems to be an achievable goal.

Hydrometric measurements and hydraulic modelling

With the objective of studying the operating conditions of the drainage system, in May 2019 we performed a hydrometric examination of the canal's three sections, at 1+550, 3+700 and 6+100 km (Fig 7.5).



Figure 7.5 Locations of the sections where hydrometric measurements took place

Measurement of the section speeds was done using standard hydrometric methods, utilising an OTT Nautilus C2000 device. This modern hydrometric current meter that works with electromagnetic technology has been made suitable for measuring 'very slow' water flow (0.00-2.50 m/s), and the smallest water depth is 3 cm. We determined the hydraulic characteristics of the Čurug-Žabalj main canal with the help of the surface speed method. Fig 7.6-8 and Tables 7.7 and 7.8 contain the results.

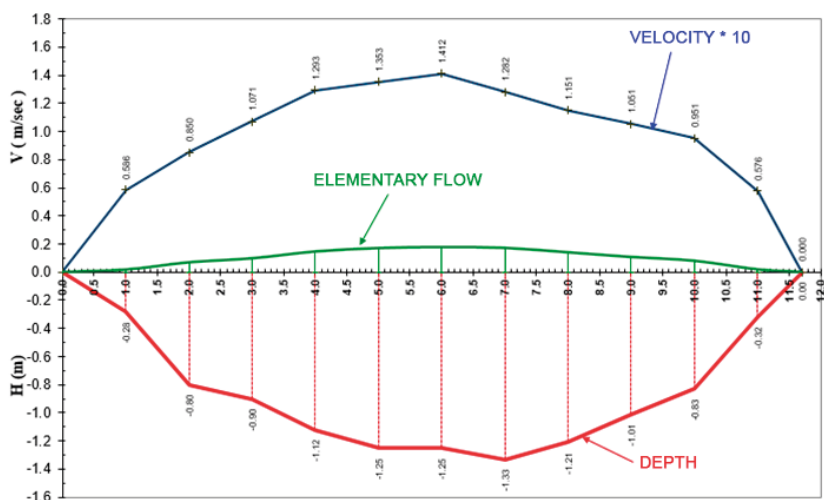


Figure 7.6 Chart of the hydrometric measurement results, section point 1+550 Km

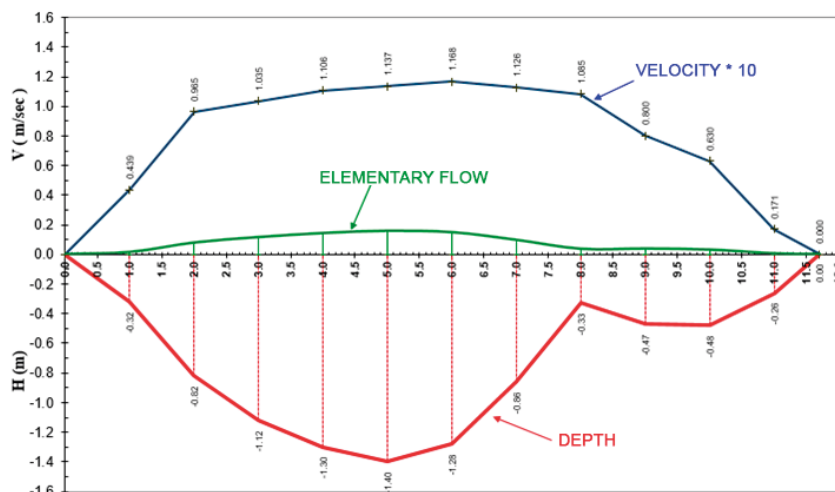


Figure 7.7 Chart of the hydrometric measurement results, section point 3+700 Km

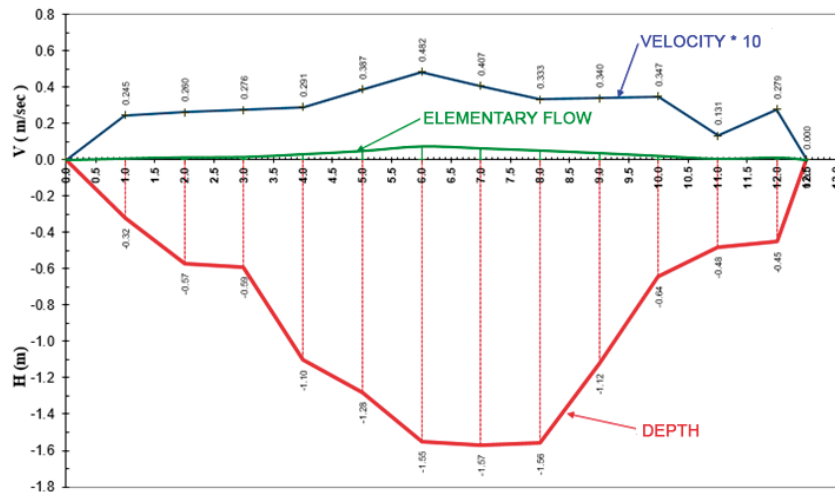


Figure 7.8 Chart of hydrometric measurement results, section point 6+100 Km

Table 7.7 Hydrometric measurement results and comparison with the planned values

Station (km)	Flow (m ³ /s)		Velocity (m/s)	
	designed	measured	designed	measured
1+550	7,3	1,18	0,35	0,12
3+700	7,05	0,87	0,35	0,10
6+100	6,17	0,39	0,34	0,04

Table 7.8 Hydraulic elements of the canal at the sections examined

Station (km)	Flow area (m ²)		Wetted perimeter (m)		Hydraulic radius (m)	
	designed	measured	designed	measured	designed	measured
1+550	21,03	14,23	16,51	12,89	1,27	1,10
3+700	20,33	12,93	16,11	13,05	1,26	0,99
6+100	18,08	15,87	14,88	13,98	1,22	1,14

The results of hydrometric measurements performed at three sections of the main canal indicate that the registered section speeds and the flow are way below the value planned. It is clear from the results that the counter-flow parts of the main canal that are close to the pump are used with lower intensity. At the examined sections, the canal's geometric characteristics that are expressed through its hydraulic elements indicate that in comparison with the plans, there have been changes in the canal's geometric shape.

Based on the hydrometric measurements, we used the HEC-RAS software to prepare the hydraulic model. Hydraulic calculations revealed that the values of hydraulic resistance against the counter-flow, which are expressed by using Manning's roughness coefficient, are higher than the planned values. The measured average value was $n = 0.05$ and the planned value was 0.026. Fig 7.9 and 7.10 contain the results and the canal's water surface line.

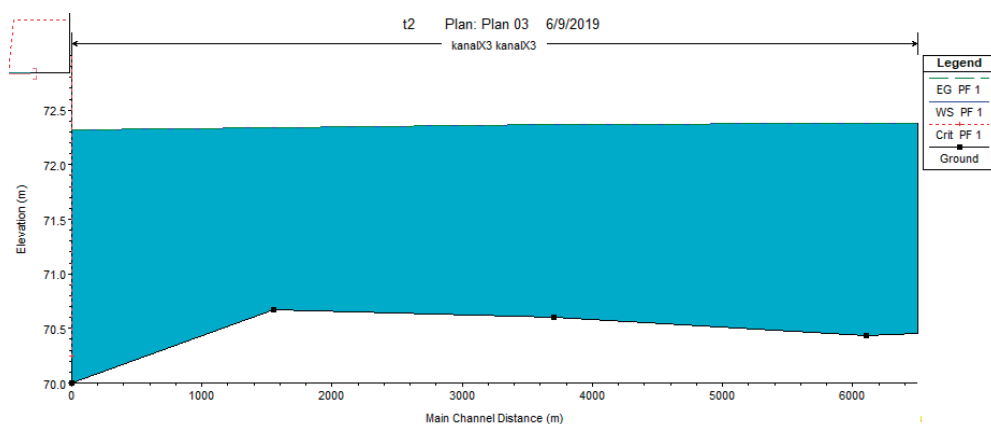


Figure 7.9 Longitudinal cross-section of the main canal between section points 0+000 and 6+100 Km

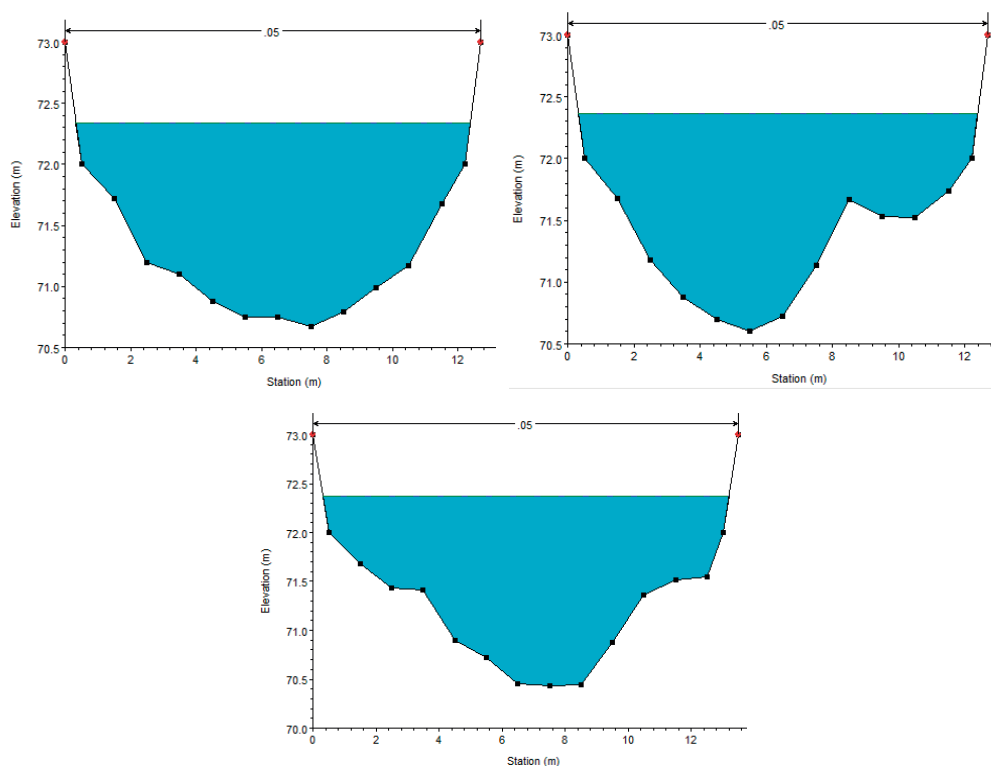


Figure 7.10 Cross section of the three main canal sections at points 1+550, 3+700 and 6+100 Km

The results indicate that the water flow conditions worsened in the main canal of the drainage system. These results are logical, as during the use of the system there are erosion processes and the water vegetation keeps growing, so sludge is deposited. Drainage practices used up until the present day show that canal systems must be revitalised every five years, in order to ensure the optimal water flow conditions, and to guarantee the efficiency of water drainage (Kolaković, 2003). Research conducted within the framework of the IPA WATER@RISK project proved that it is necessary to implement an action plan for the monitoring of the system's canal network, the condition of the pumping station and the system's operation, plus for the analysis of the catchment's hydrologic conditions (hydrologic parameters, hydrologic order, hydrologic module of water drainage); what is more, hydraulic modelling must also be done, with the help of which the system's operability can be determined accurately and in detail, and in line with this the necessary steps can be taken for the revitalisation of the water drainage system.

8. Operation of canal systems and multi-purpose water management – Dong-ér catchment

Zsuzsanna Nagy; Gergely Pálfi; Zsuzsanna Priváczkiné Hajdu;
Balázs Benyhe

Introduction

Due to the natural geography of Hungary, nearly a quarter of its territory is a deep-lying flat area, where water cannot be flowed naturally. A significant part of these areas currently concern agricultural land. It is interesting to compare the land use and the extent of the areas currently affected and exposed the excess water with the 19th century pre-flooding management situation. The consequence of continuous anthropogenic effects in the 1940s reached 600,000 hectares of flooded land (Pálfai, 2004), followed by a period of inland drainage. Thus, the size of the areas flooded with excess waters has been reduced in magnitude, but the decline of the “water treatments” previously solved within the field, and in many places due to its almost complete disappearance, the phenomenon has again become significantly visible.

The durability, spatial extent and mass of the inland excess water phenomenon are currently the basis of many land use conflicts related to water management. The question arises as to how long and to what extent a technical solution can be used to respond to the size of the floods (Kozák, 2006) or to find a solution to the situation elsewhere.

The present document seeks to discuss the principles and thoughts leading to the answer to this question, from several sides.

Genetics and measurement of excess water

Classes of inland excess water can be differentiated based on the Hungarian literature (Török 1997, Pálfai 2001; Pásztor et al. 2006; Kozák 2003, 2006; Barta et al 2013). What is common in all types of inland excess water cause local depressions to be filled with water which can vanish depending on the meteorological conditions, soil characteristics and human intervention. The types are following:

- Horizontal or accumulative type of inland excess water – usually originates from precipitation, but topography and soil factors can also have considerable effect (Rakonczai et al. 2014a; Benyhe 2013, 2015; Barta et al. 2016).
- Vertical inland excess or upwelling inland excess water or “Earth flood” – when the ground water table arises higher than the surface.
- Queuing up or Vágás-type of inland excess water. This inundation type occurs usually at the locations of pump stations or at dams because of the failure or insufficient capacity of the channels or pumps.

The following general approaches are usually applied to study inland excess water in the Hungarian Great Plain:

- Description of observed extent of inland excess water. Mainly based on survey visits and perception maps, photography, aerial photography, etc. (Liczkó et al., 1987; Rakonczai et al., 2001; van Leeuwen et al., 2017).
- Vulnerability maps which mainly based on GIS, considering topographical, soil and land use factors (Pálfai, 2004; Pásztor et al., 2014; Bozán et al., 2018). Their scale is usually regional or national level
- Remote sensing techniques which are using high resolution remotely sensed data such as spectral and hyperspectral images, radar data, satellite information, etc. (Csornai et al., 2000; Rakonczai et al., 2001; Mucsi and Henits, 2010, Csendes and Mucsi, 2016). This method is suitable for classifying inland excess water (LEEUEWEN et al., 2013)
- Complex physically distributed models to simulate the hydrological processes causing inland excess water (Kozma, 2013, Leeuwen et al. 2016).

Model area

The area of interest, is the Dong-ér catchment situated on the Danube-Tisza inter-fluve and partly on the Lower-Tisza valley (Fig. 8.1/a.). The main watercourse is the Dong-ér canal which is transports the waters towards the Tisza River as the final recipient. The basin can be divided into two parts, the elevated sandy ridge region and the former floodplain zone along the river Tisza.

The area's surface is mostly determined by changes in the Quaternary. Fluvial (Danube) and eolic surface shaping were dominant. Wind-blown sand formation continues in accordance with the prevailing wind direction, NW and as a result covers the former loess or wind-blown sand areas. Along the Tisza Valley chernozem soils become dominant over fine sand loess layers.

The climate of the model area is moderate or warm-dry. The average annual temperature fluctuates between 10.2 and 10.7 °C. The annual rainfall ranges from 520 to 570 mm, but in extreme cases, it is less than 400 mm. On the basis of the

droughts that have occurred so far according to Pálfi's classification, it belongs to the heavily droughty, very strongly droughty zone.

The Dong-ér system can be described as two main sub-systems; (1) Dongér-Kecskemét (905 km²), and Dongér-Halasi inland excess water system (1011 km²). The use of surface waters in the area is low due to the sparse rainfall and runoff, so the use of the underground stocks is mostly dominant. The vertical lower boundary of the water reservoirs can be drawn at the first water-permeable layer from the surface at an average depth of 20-30 m. Based on the available agrotopographic map the area is heterogeneous. The most dominant soil types are sandy soils, humus sands, windblown sand, chernozem and salt-affected soils (Fig 8.1/b). Due to heterogeneous terrain and soil conditions, and the highly artificial drainage network, the excess waters can lead to various and unpredictable processes.

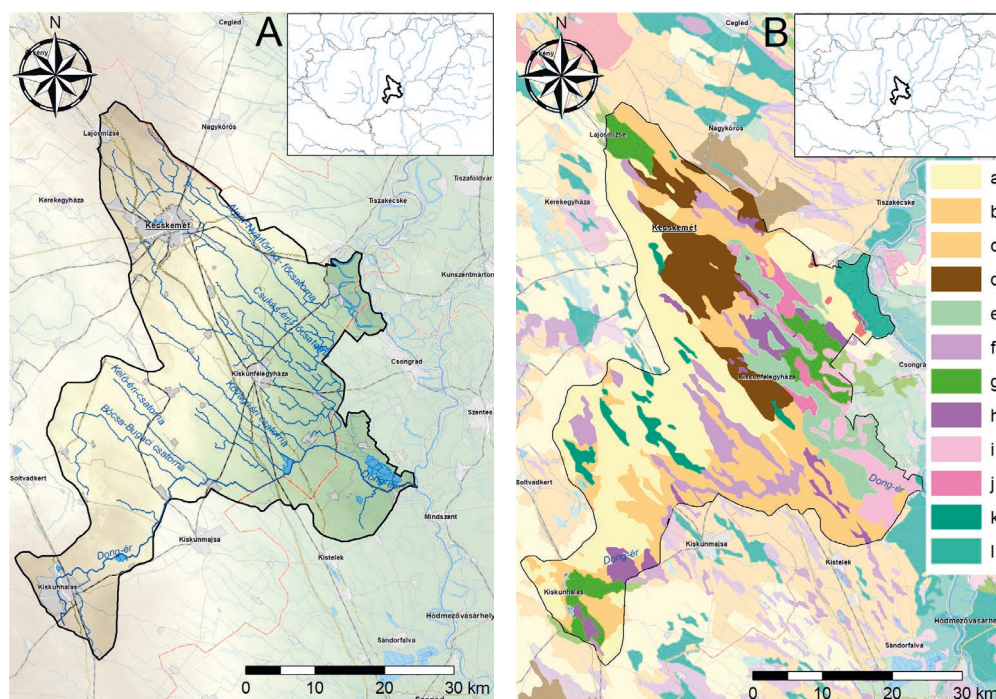


Figure 8.1 Topographic conditions and canal network of the Dong-ér catchment (A) and soil types of the area (B) a: blown sand, b: humic sandy soil, c: chernozem-type sandy soil, d: lowland chernozem, e: meadow chernozem, f: solonetzik meadow soil, g: meadow chernozem with salt accumulation in lower layer, h: solonchak-solonetz, i: meadow solonetz, j: meadow soil, k: meadow alluvial soil, l: steppe-meadow solonetz

Analyses of excess water development

Flooding analysis – Endorheic basin analysis

In this preliminary analysis, flood-prone areas were identified with GIS techniques based on digital elevation model focusing on depressions or areas which doesn't have outlet flow. The expected results of the analyses are flood maps with the extent of flooded area, water depth, volume of the water stored in the depression and flow path network. The model results depend only on the terrain model and other factors are not taken into account, the calculated flood areas are expected when the water can move freely on the surface, it doesn't infiltrate to the ground, nor does the surface cover prevent its' flow. In reality, similar conditions occur with saturated or possibly frozen soil conditions, especially during winter.

Analyses were made for 10, 30, 60, and 100 mm precipitation height. Flooded areas are shown in the attached maps, furthermore their areas and volumes can be seen in the table below. Lakes with more or less permanent water-cover have appeared on the resulted maps as inundation, but their areas and volumes had been subtracted from the summarization.

This preliminary analysis could give useful information during the calibration procedure of the surface runoff models.

MIKE SHE analysis – accumulation of excess water

Modelling of excess water is a challenging and complex process. For the sufficient representation of the hydrological processes, the applied model has to deal with the followings: (1) precipitation, (2) run-off, (3) evaporation, (4) evapotranspiration, (5) infiltration, (6) water movements in saturated and unsaturated zone, (7) water movement in the channels and (8) storing water on the surface. It is important that these processes are interconnected and affecting each-other. In addition, the operational activities must also have to consider several point of views during intervention, therefore an integrated approach of the problem must be evaluated. Fulfilling this criteria, the MIKE SHE integrated catchment modelling software was chosen, offering high quality and fast solutions for complex water movement and accumulation processes.

The aim of the MIKE SHE analyses is to develop a calibrated model what is suitable to satisfy the needs of operational planning and decision making during extreme hydrologic conditions.

As first step after all of the input data evaluation and pre-processing to initialize main calibration parameters. In case of Dong-ér catchment, several necessary inputs were missing, so we concentrated for that timeframe when measured data were available. 2015 and 2018 springtime were selected because for that timeframe were available flood extent maps and underground water-levels.

Results

Excess water inundation extents and volumes

The results of the analysis determine the extent and volume of endorheic basins. A comparison validation was taken by using existing excess water inundation maps, marking the locations of the regularly flooded areas (Fig. 8.2). It was revealed during the validation, that no significant flooded areas exist on the upstream part of the catchment regardless the topography showed certain areas without outlet. It has to be considered, that infiltration and subsurface water movement has a major importance in the sand ridge region and the effect of topographic conditions is only secondary.

It is also notable that most of the possible inundation locations appear in a certain distance from any canals, however the experience shows that runoff can be blocked by the deposited material of the canals (Kiss and Benyhe 2015). Unfortunately this effect could not be identified on the results, due to the poor quality if the terrain model.

Assuming saturated soil conditions, when no infiltration can occur, a normal rainfall event can already accumulate in approximately 183 km² (9,5%) of inundation in the catchment area, based on the simulation results. Considering higher rainfall, it is noticeable, that even a 100 mm rainfall event will result only in a 360 km² of total inundation, that is 18% of the catchment area (Fig. 8.3). The relationship between volumes and precipitation is even lower, because no additional water can be retained in the endorheic basins, highlighting the limitation of available storage areas.

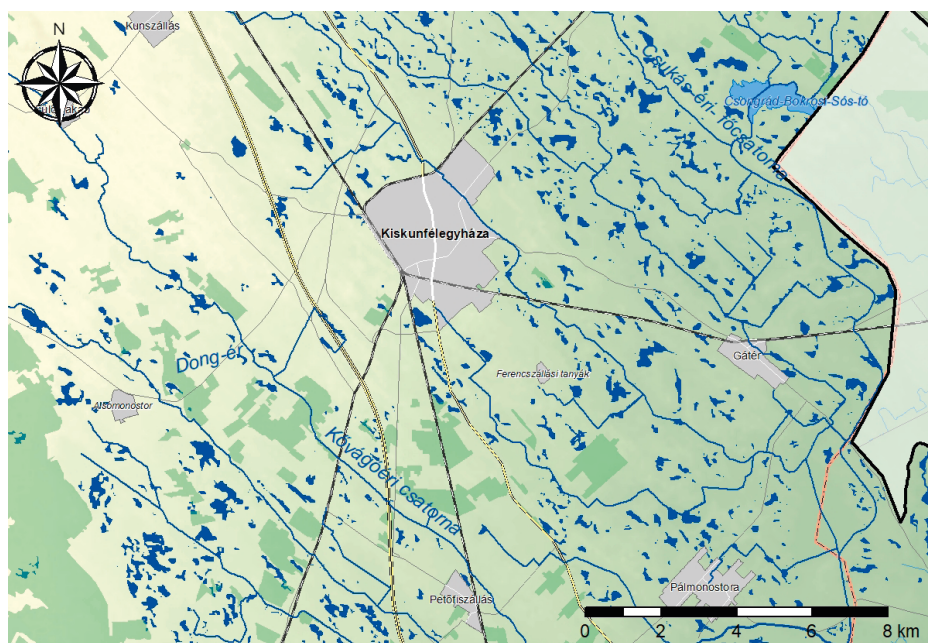


Figure 8.2 Location of inundated endorheic basins with a 30 mm rainfall simulated

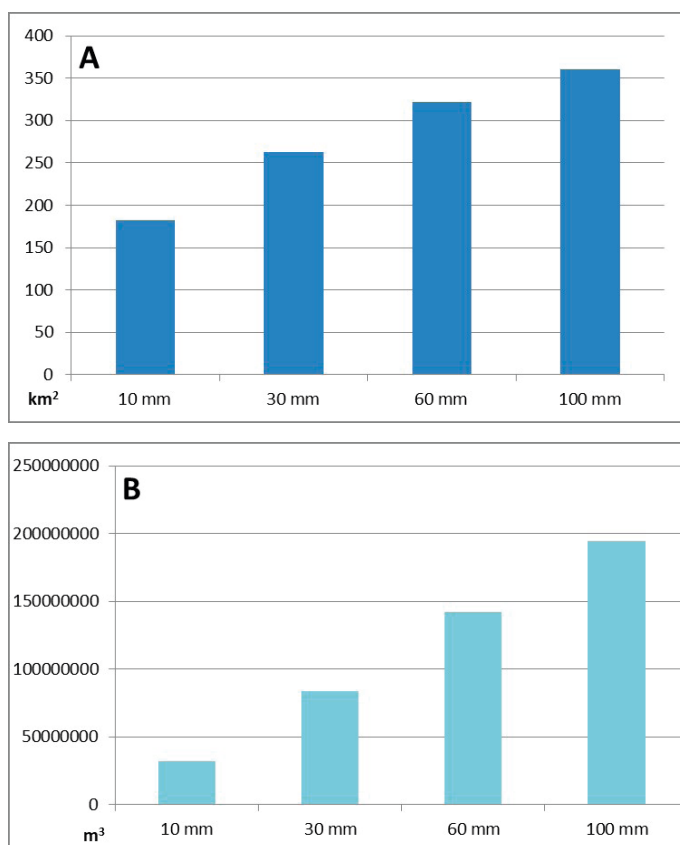


Figure 8.3 Area (A) and volume (B) of total inundations in the Dong-ér catchment resulted from endorheic basin analysis for different rainfall amounts

Integrated hydrologic model of the Dong-ér catchment

The purpose of the developed MIKE SHE model was to support the operational procedures in relation with excess water management, water storage, structure control, canal maintenance and other water resource management procedure in the Dong-ér excess water system. As the hydrological processes are in connection making a complex system, the experts can take the advantage of the model, which is capable to integrate all the relevant phenomena, and dynamically follow the changes in the water balance of the canals and the watershed.

Due to limited hardware availability, the entire modelling timeframe (2010-2018) had to be cut, therefore shorter periods could have been evaluated. It is seen in the example of 2018, that the model had resulted significant inundation areas in the eastern part of the catchment area (Fig. 8.4). The modelled excess water inundation patches were validated with available inundation maps created by the colleagues of the University of Szeged.

It is visible that the model overestimated the number and size of inundation patches. Approximately 132 km² of excess water inundation appears on the derived map, but the validation showed that only a small portion was covered by water that time (2018.03.25. – 2018.04.01.). The resulted inundation map shows large excess water patches along the drainage canals, suggesting the “Vágás-type” inundation development process. As a result of canal capacity deficiencies, the downstream areas of the catchment can be endangered by surplus water coming from upstream, inundating the bordering areas if the water level emerges above the elevation of the canal banks.

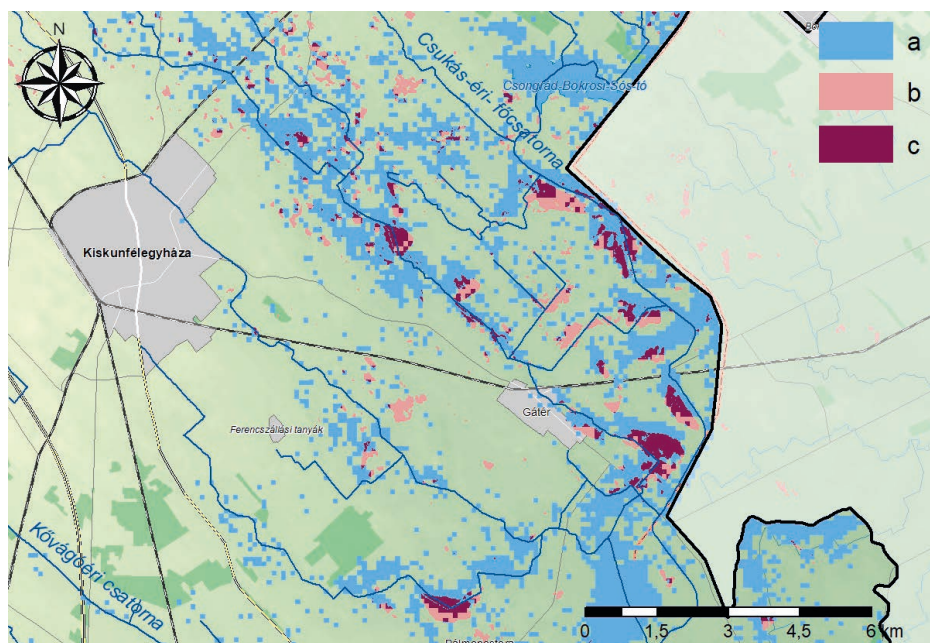


Figure 8.4 Inundation areas derived by MIKE SHE model (a), compared with areas derived from excess water map of SZTE (b) and validated inundation patches (c)

Since there is no continuous monitoring along the canals in the Dong-ér catchment, the calibration of surface water flows was not possible for recent situations. Operational water level and discharge measurements occur during excess water protection periods, however these data are only momentary, which cannot be compared with model results that are fluctuating due to the numerical instabilities.

Despite all of this, the subsurface water levels and gradients could be calibrated with existing control monitoring wells' time series. The modelled groundwater levels were promisingly giving back the observed control values, and the average error of the head elevation of the saturated zone was below 0,5 m, which is a remarkable result, considering the poor quality and quantity of input subsurface input data. As the subsurface water balance somehow correlates with the calibration values, it can be supposed that the overestimation of the modelled inundation area is possibly

related to the inaccurate evapotranspiration estimations. Unfortunately evapotranspiration itself is based on certain factors (such as land use, crop type, soil structure etc.), that does not have sufficient calibration possibilities.

The head level of the calculated groundwater table is strongly following the topography (Fig. 8.5), with a well-defined gradient towards the Tisza valley. The head elevation values are calculated for each time step, granting the user with current water storage amounts and subsurface flow rates as well. As the underwater fluxes are having significant effect charging the drainage canals and emerging above the surface of depressions, these model results can be evaluated both for mapping and for capacity and water resource analyses.

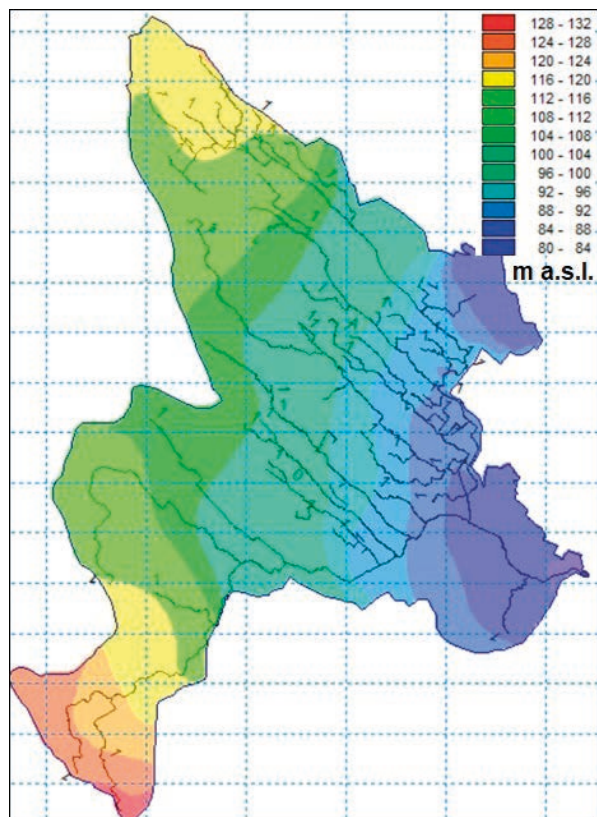


Figure 8.5 Map of calculated head elevation in saturated zone

Discussion of modelling results

Due to the missing or not up-to-date input data, MIKE SHE model results can – and must – be improved. Otherwise on the reached level of calibration, modelling approach is showing the potential of it. As MIKE SHE uses detailed physical based

methods, all important phenomena can be modelled and quantitatively calculated. MIKE SHE can be a useful tool to simulate accumulation of excess water in the past, extend the measured data for the catchment and use it as tool for evaluate different type of measurement in the field (e.g.: land use change, new channel designs, etc.)

As no surface monitoring station could be used for surface water flow validation, the model still need to be updated with input data both for calibration and validation procedures. This insufficiency will be handled by the operation of two new discharge monitoring stations being built in the downstream and middle part of the Dong-ér canal. These equipments will provide essential information about water level and discharge values to the water management service.

There are other crucial input parameters that must be improved to develop an accurate excess water model. These are mostly the topography and vegetation cover maps, that unfortunately being updated sparsely, but there were some quality issues with control structure database also which must be upgraded by the water management service. Besides the insufficient temporal distribution, the available values can also be questioned and mostly these parameters (such as LAI, root depth, hydraulic conductivity values) cannot be validated, therefore they will be contributed as calibration values.

In case of examination excess water phenomenon main calibration measured data are obligatory. Beyond that there are lot of uncertainty in many parameters to make the calibration process hard, still the hardware and human resource availability is one of the greatest challenges. Physical based modelling is a good tool to select the most sensible parameters, aiding different sectors of water management to focus to the most important scientific and operational developments.

Water control programme

The objective of the water control programme is to survey the water control situation of the area – which was processed within the framework of the Water at Risk project utilising a complex water resource management numerical model – and to make suggestions to apply the model and its results to daily operational water control practices.

Factors influencing inland excess water accumulation and drainage

The surface is dissected, due to deflation and gradient conditions valleys that are parallel to each other runs along the catchment with NW-SE direction. Inland excess water drainage and control structures were mostly built in the bottom of these valleys, but undrained depressions can be also found over the ridges.

Natural gradient conditions make the drainage of large quantities of water possible. It works against these technical opportunities that the waste water from nearby towns and villages often go into these canals too, therefore the rapidly growing plants, organic matter and sludge deposited result in the reduction of the water carrying capacity of the canals.

There are many infertile patches of land called *semlyék*. In the southern part of the inland excess water system, in the Kővágóór, Galambosér and Szentkútér inlets so-called meadow limestone has been formed, which can be 20-30 cm thick at certain places. At some parts this layer cuts into the canal section, by this obstructing the construction of the earth bed and structures of the canals. Under the limestone usually there is running sand that is under artesian water pressure, and the limestone layer that is present in certain parts and the groundwater below it that is under pressure can constitute an inland excess water increasing factor.

The section of the Dong-ér-Halas inland excess water system No.34 that is situated along river Tisza is mostly deep-lying floodplain. It is characteristic of its topography that it is divided by old riverbeds with an average gradient of 1 m/km.

Approximately 50% of the land is agricultural land and the proportion of meadows and grazing land is 30%. There are large parts that classify as nature conservation area, which can influence the water drainage rate. The size of protected areas is 55,614 ha, the size of Ex lege protected land is 530.6 ha.

Technical and demographic characteristics of the inland excess water systems discussed

Installed discharge intensity of canals

In the Csukás-ér catchment it is 21.35 l/s/km², in the Alpár-Nyárlőrinc main canal catchment the installed specific water flow is 23.25 l/s/km², calculated without storage. In the Dong-ér inlet the installed discharge intensity is as follows: Dong-ér inlet: 16.7 l/s/km², Büdösszék inlet: 9.6 l/s/km², Bócsa-Bugac inlet: 8.4 l/s/km², Tázlár inlet: 41.9 l/s/km², Alsószállás inlet: 43.1 l/s/km². The installed discharge intensity of the Dong-ér inland excess water system No.34 is 18.6 l/s/km².

Inland excess water hazard index and inundation data

Due to the area's geographical characteristics the inland excess water hazard is present in the deep-lying floodplains. Based on the inland excess water hazard index (Pálfai), more than half of the area is at risk (Table 8.1). The biggest inundations registered in the inland excess water system in the 1966-2018 period affected 50,000-87,000 ha in the inlet No.33 and 6,500-7,500 ha in the inlet No.34. In the other inland excess water periods the average size of inundations was between 3,000 and 5,000 ha (Table 8.2).

Table 8.1 *Distribution of inland excess water hazard in the Dong-ér catchment*

Palfai IEW Vulnerability	area [km²]	proportion [%]
no vulnerability	715,3	36,2
moderately vulnerability	1082,8	54,8
medium vulnerability	146,2	7,4
high vulnerability	31,6	1,6

Table 8.2 *Size of inundated areas in the Dong-ér catchment*

Period (year)	33. sz. Dongér-Kecskeméti	34. sz. Dongér-Halasi and 36. sz. Percsora-Sövényházi
	Inundated area (ha)	Inundated area (ha)
1966	87000	3933
1970	50000	n.a.
1975	72000	4089
1999	n.a.	6900
2000	4600	6500
2006	n.a.	3550
2010	3450	7500
2011	3650	7500
2013	n.a.	4400
2014	1550	n.a.
2015	2500	5100
2016	1950	2250
2018	3050	n.a.

Demographics

In the Dong-ér-Kecskemét No.33 and the Dong-ér-Halas No.34 inland excess water systems there are 21 towns and villages, the total population of these is 210,000. From this population 53% live in Kecskemét.

Priorities and related legislation in water drainage and inland excess water protection

In today's legislative environment there are 3 fundamental laws governing protective operations against water damage:

- Act LVII of 1995 on *Water Management*
- Government Decree 232/1996. (XII. 26.) on *Rules of protection against damages caused by flood*

- KHVM Decree 10/1997. (VII.17.) on *Flood and inland excess water protection*
- Act CXXVIII of 2011 on Disaster Management and amending certain related acts

The water management act regulates the water management tasks of the state and municipalities in detail, and also the tasks of land owners, therefore flood protection and inland excess water protection related tasks too. Furthermore, the law regulates water damage protection activities, their organisation, control, supervision and tasks beyond the scope of local general interest tasks performed with the objective of protection against damages caused by water.

Implementation of measures against flood protection is governed by Government Decree 232/1996. and KVMH Decree 10/1997., as regards the criteria for ordering inland excess water state of alert, the steps to be taken at the different stages, the tasks and scopes of authorities of the personnel doing the protection work, the contents of protection plans, plus the rules and procedures of drainage, inland excess water storage and water retentions.

In Hungary water management and water damage prevention, including the protection against inland excess water, is controlled by the state. The main supervisor of this work is the minister responsible for water management. Protection tasks – building the defence structures, improving and maintaining them, protective measures – these are the shared obligations of the state, the municipalities and other stakeholders. State tasks related to flood damage prevention are performed by the water management directorates. It is the directorates' job to harmonise the maintenance, operation, reconstruction and development work related to the built water control structures owned by the state, the municipalities and land owners.

Since 2012 it has been the Ministry of Interior's¹ responsibility to control water management affairs, this field belongs to the deputy state secretariat for public work and water management. The operative tasks of the state are performed by the General Directorate of Water Management (OVF). The minister and the government establish a National Technical Operative Unit (OMIT) for the nationwide management of technical tasks related to flood and inland excess water protection, and they control the process via this unit (Priváczkiné and Muhoray 2018.).

In case of emergency, the rules laid down in the act on disaster management² must be followed. If there is an extreme inland excess water situation, the state of emergency is ordered by the director of water management via the OMIT or by the mayor and the engineers of HVB and MVB³ via the BM OKF⁴ (Priváczkiné et al. 2019.).

1 Since 1953 water resources management has belonged to several ministries and underwent numerous restructurings. Discussing this can't be the subject of this chapter due to length limitations.

2 Act CXXVIII. of 2011 on Disaster Management and the amendments of related acts, amended in 2012.

3 Act CXXVIII. of 2011 on Disaster Management and the amendments of related acts, amended in 2012.

4 Act CXXVIII. of 2011 on Disaster Management and the amendments of related acts, amended in 2012.

Water control in practice, as stipulated by the laws in force and the rules of operation

The surface of the sample area's inland excess water system is mostly plateau type; as for its topography, it is primarily defined by its location on the sand ridge in the Danube-Tisza interfluvium. It slopes towards the South East, in the direction of the river Tisza's deep-lying floodplain and towards the Tisza-valley. Thanks to the sloping characteristics, the waters of the inland excess water system can be gravity drained with the canals constructed in the North West – South East direction into the recipients and main recipients.

With the help of weir structures, the discharge of inland excess water can be regulated. Water retention must be performed by means of designated reservoirs, temporary reservoirs, and agricultural land representing lower value, with the exception of the situation when considerably value is in danger.

The main recipient of inland excess water system is the Dong-ér main canal, which carries the collected water into the river Tisza. Gravity discharge only ceases to exist when there is an extreme (standard) flood wave on the river Tisza. When this situation occurs, the received water can be carried further by installing and operating temporary pumping stations at the so-called Benedek-lock, which is located in the 1+004 km section of the main canal. Currently it is the Benedek-lock that is responsible for stopping flood waves. (Within the framework of an investment project, an estuary lock/floodgate is being constructed right now.)

Along the Dong-ér main canal a large quantity of inland excess water can be retained. With the Péteritő-lock that is located in section 22+243 km, the water level of the upstream part can be regulated. By using the lock, the inland excess water can be drained into the lake Péteritő. The water storage facility for the inland excess water must be made available in the 20 October-28 February period. Lake Harkató, which is located between section 58+600 km and 60+240 km of the main canal, must cope with storing 1.5 million m³ of inland excess water. Because of inland excess water protection interests, the authority ATIVIZIG can order the partial or full discharge of the lakes any time.

One of the Dong-ér main canal's most important branch canals is the Csukás-ér main canal. In addition to carrying inland excess water, treated waste water also flows in this canal. There is only little possibility for water steering in its own bed. Water can primarily be retained at the spillover structure that is located at the upper end, in the rainwater storage facility constructed in the 40+946 km section. In the lower end sections, due to the steeper slopes storage isn't possible, therefore water in the inflow canals must be stopped in the periods when inland excess water accumulates.

The function of the Gátér-Fehértő link canal, which branches off from the 6+343 section of the Csukás-ér main canal, is to lead maximum 1 m³/s of water from the Félegyháza canal to the Csukás-ér main canal, plus it is also the recipient of the Gátér and Tömörkény canals.

Alpár Tisza oxbow receives the water of the Alpár-Nyárlőrinc main canal until the backwater has water reception capacity. When the backwater's outflow weir, lock

No.2 must be closed because of the rising water level of the river Tisza, through the so-called Baloghalom-weir – that is situated in section 6+635 km of the main canal – as much inland excess water can be led through as the limited storage capacity of the backwater allows; this way the flooding of the backwater can be avoided. In cases like this 2 m³ of water can be gravity drained into the Csukás-ér main canal via the Csukásér-Nyárlőrinc link canal. With regard to the endorheic condition, the intake capacity of the backwater is maximum 4.0 million m³. As for the Alpár-Nyárlőrinc main canal, water can be retained until the 8+800 km section in the meadows and grazing land along the main canal.

Suggestions for the changes of water control practices

By utilising the available numerical modelling capacity (taking into consideration the priorities emerging in connection with managing the inundations and with the inland areas, plus the involvement of areas capable of retaining water), the following suggestions can be made for the transformation of the water control system (Kozák 2013, 2016):

- In the future, the inland excess water security of towns, villages and inhabited areas must be improved
- The accumulation processes must be delayed, primarily by applying lock-ups in the upstream sub-catchments.
- Water retention is the most effective in the areas along the canals, which have the right morphological characteristics and land use types.
- When selecting the areas designated for retaining water, it is best if those areas are used that don't increase the inland risk, such as those that fall into the 'unutilised' or 'meadow, grazing land' cultivation categories.
- Consent must be obtained from the owners of land suitable for retaining water.
- In planning the water retention, the formation of high water depth must be avoided.
- As for the utilisation of the water quantities retained, it must be taken into consideration that the daily evaporation rate can be 10-15 mm in the summer period.
- After development work, the Gátér-Fehértó link canal will be suitable for carrying large quantities of water (~3,1 m³/s), by this reducing the risk of inland excess water accumulation.

Irodalomjegyzék

Literatura – References

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., (1998): Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrig. Drain. Pap. 56, FAO, Rome, pp. 300.
- Balint, Z., Mutua, F.M., Muchiri, P. (2011). Drought monitoring with the combined drought index, FAO-SWALIM, Nairobi, Kenya, 3-25.
- Barett, B.W., Petropoulos, G.P. (2014). Satellite remote sensing of surface soil moisture. In: Petropoulos, G.P. (ed.): Remote Sensing of Energy Fluxes and Soil Moisture Content. CRC Press, Boca Raton. 85-120.
- Barta, K. (2013). Inland excess water projection based on meteorological and pedological Monitoring data on a study area located in the southern part of the Great Hungarian Plain. *Journal of Environmental Geography* 6 (3-4), 31-37. DOI: 10.2478/jengeo-2013-0004.
- Barta, K., Bata, T., Benyhe, B., Brkic, M., Dogan, V., Dolinaj, D., Farsang, A., Gál, N., Henits, L., Juhász, L., Kiss, T., Kovács, F., Mezosi, G., Mucsi, L., Mészáros, M., Obradovic, D., Pavic, D., Rakonczi, J., Savic, S., Živanov, M. (2013). Inland Excess Water – Belvız – Suvišne Unutrašnje Vode. 10.13140/2.1.5143.3920.
- Barta, K., Crnojevic, V.B., Blanka, V., Ladányi, Zs., Fiala, K., Vukobratovic, D. (2014). Terepi talajnedvesség megfigyelés az aszálykutatás szolgálatában. In: Blanka Viktória, Ladányi Zsuzsanna (eds.): Aszály és vízgazdálkodás a Dél-Alföldön és a Vajdaságban – Suša i upravljanje vodom u južnoj mađarskoj ravnici i Vojvodini – Drought and Water Management in South Hungary and Vojvodina. Szeged, Szegedi Tudományegyetem Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, 245-258.
- Barta, K., Szatmári, J., Posta, A. (2016). Connection Between Inland Excess Water Development and Motorways. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 11 (1), 293–301.
- Beguería, S., Vicente-Serrano, S.M., Reig, F. and Latorre, B., (2014). Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. *International Journal of Climatology*, 34(10), pp.3001-3023.
- Benka, P., Bezdan, A., Grabić, J., Salvai, A. (2011). Mogućnost praćenja suše primenom karata SPI, Melioracije 11, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad http://www.dmcsee.org/uploads/file/325_7_unsfa_the_possibilities_of_drought_monitoring_benka_bezdan_grabic_salvai.pdf
- Benyhe, B. (2013). Agrogén hatásra kialakuló felszínformák és folyamatok vizsgálata eltérő geomorfológiai adottságú területeken. Doktori (Ph.D.) értekezés.
- Benyhe, B. (2015). Antropogén eredetű felszínformák lefolyás módosító hatásának modellezése domb- és síkvidéki vízgűjtőkön (Szakdolgozat).
- Bezdan, A. (2014) Water Excess and Water Deficit Risk Assessment in Landreclamation Area. Ph.D. Thesis, University of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Novi Sad, Serbia, 2014.
- Bezdan, J., Bezdan, A., Blagojević, B., Mesaroš, M., Pejić, B., Vranešević, M., Pavić, D. and Nikolić-Đorić, E., (2019a). SPEI-Based Approach to Agricultural Drought Monitoring in Vojvodina Region. *Water*, 11(7), p.1481.
- Bezdan, A., Blagojevic, B., Vranesevic, M., Benka, P., Savic, R. and Bezdan, J., (2019b). Defining Spatial Priorities for Irrigation Development Using the Soil Conservation and Water Use Efficiency Criteria. *Agronomy*, 9(6), p.324.
- Bezdan A., Dragincic J., Blagojevic B., Vranesevic M., Benka P. (2014): Assessment of vulnerability to inland excess water in Vojvodina region, *Contemporary Agriculture*, 63(3), 269-275.
- Blagojevic B., Srdjevic B., Srdjevic Z., Zoranovic T. (2016a): Heuristic aggregation of individual judgments in AHP group decision making using simulated annealing algorithm. *Information Sciences* 330: 260-273.

- Blagojevic B., Srdjevic B., Srdjevic Z., Zoranovic T. (2016b): Deriving weights of the decision makers using AHP group consistency measures. *Fundamenta Informaticae* 144: 383-395.
- Blagojevic B., Srdjevic Z., Bezdan A., Srdjevic B. (2016c): Group decision making in land evaluation for irrigation: A Case study from Serbia. *Journal of Hydroinformatics* 18(3): 579-598.
- Blaikie, P., Cannon, T., Davies, I., Wisner, B., (1994): *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability, and Disasters*, Routledge, New York, NY, USA, 284 pp.
- Blanka, V., Mezősi, G., Meyer, B. (2013). Projected changes in the drought hazard in Hungary due to climate change. *Időjárás / Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service* 117(2), 219-237.
- Bozán, Cs, Körösparti, J., Pásztor, L., Kuti, L., Kozák, P., Pálfi, I. (2009). GIS-based mapping of excess water inundation hazard in Csongrád county (Hungary). In.: *Proceedings of the International Symposia on Risk Factors for Environment and Food Safety & Natural Resources and Sustainable Development*, Faculty of Environmental Protection, November 6-7 Oradea, 678-684.
- Bozán, Cs., Körösparti, J., Pásztor, L., Pálfi, I. (2013). Excess water hazard mapping on the South Great Hungarian Plain. *Proceedings of the 13th International Conference on Environmental Science and Technology Athens, Greece, 5-7 September 2013*, 8. p.
- Bozán, Cs., Pálfi, I., Pásztor, L., Kozák, P., Körösparti, J. (2005). Mapping of Excess Water Hazard in Békés and Csongrád Counties of Hungary. In.: *ICID 21st European Regional Conference Integrated Land and Water Resources Management: Towards Sustainable Rural Development*, Frankfurt (an Oder) and Slubice, Germany and Poland, p.4
- Bozán, Cs., Takács, K., Körösparti, J., Laborczy, A., Túri, N., Pásztor, L. (2018). Integrated spatial assessment of inland excess water hazard on the Great Hungarian Plain. *Land Degradation & Development* 29(12), 4373-4386. DOI:10.1002/ldr.3187.
- Büttner, G., Soukup, T., Kosztra, B. (2014). CLC2012 Addendum to CLC2006 Technical Guidelines. EEA, p.35.
- Cannon, T., Twigg, J., (2005): *Social Vulnerability, Sustainable Livelihoods and Disasters*, Report to DFID Conflict and Humanitarian Assistance Department (CHAD) and Sustainable Livelihoods Support Office. London, DFID: 63.
- Chen, F., Dudhia, J. (2001). Coupling an Advanced Land Surface-Hydrology Model with the Penn State-NCAR MM5 Modeling System. Part I: Model Implementation and Sensitivity. *Monthly Weather Review* 129, 569-585.
- CRED 2018. CRED. Natural Disasters (2017). Brussels. Available at: https://cred.be/sites/default/files/adsr_2017.pdf
- Czifrusz, M., Hoyk, E., Suvák, A. (eds.) (2015). *Klimaváltozás – Gazdaság – Társadalom: Hosszú távú területi folyamatok és trendek*. Publikon Kiadó, Pécs
- Csekő, Á., (2003). Árvíz-és belvízfelmérés radar felvételekkel (Flood and inland excess water survey using radar imagery), *Geodézia és Kartográfia* 2, 16–22.
- Csendes, B., Mucsi, L. (2016). Identification and spectral evaluation of agricultural crops on hyperspectral airborne data. *Journal of environmental geography*, (9) 3-4. pp. 49-53.
- Csendes, B., Mucsi, L. (2016). Inland excess water mapping using hyperspectral imagery, *Geographica Pannonica* 20 (4), 191–196. DOI: 10.18421/GP20.04-01
- Csornai, G., Lelkes, M., Nádor, G., Wirthardt, Cs. (2000). Operatív árvíz-és belvíz-monitoring távérzékeléssel (Remote sensing based operative flood and inland excess water monitoring). *Geodézia és Kartográfia* 52 (5) 6–12.
- Dabanli, I., (2018). Drought hazard, vulnerability, and risk assessment in Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(18), p.538.
- Draginčić, J., Srđević, Z. and Srđević, B., (2011). Multicriteria evaluation of irrigation canal lining variants. *Letopis naučnih radova Poljoprivrednog fakulteta*, 35(1), pp.119-126.

- Dumitraşcu, M., Mocanu, I., Mitrică, B., Dragotă, C., Grigorescu, I., Dumitrică, C. (2018). The assessment of socio-economic vulnerability to drought in Southern Romania (Oltenia Plain). *International Journal of Disaster Risk Reduction* 27, 142-154.
- Fiala, K., Blanka, V., Ladányi, Zs., Szilassi, P., Benyhe, B., Dolinaj, D., Pálfi, I. (2014). Drought severity and its effect on agricultural production in the Hungarian-Serbian cross-border area. *Journal of Environmental Geography* 7 (3-4), 43-51.
- Fiala, K., Barta, K., Benye, B., Fehérvári, I., Lábdy, J., Sipos, Gy., Györffy, L. (2018). Operatív aszály- és vízhiánykezelő monitoring rendszer. *Hidrológiai Közöny* 98/3, 14-24.
- Gálya, B., Riczu, P., Blaskó, L., Tamás, J. (2016). Belvíz érzékenység vizsgálata radar adatok alapján (Radar data based inland excess water sensitivity study), In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában VII. = Theory meets practice in GIS. Debrecen: Debreceni Egyetemi Kiadó, 161-168.
- Gericke, O.J., du Plessis, J.A. (2011). Evaluation of critical storm duration rainfall estimates used in flood hydrology in South Africa. *Water SA*. Vol. 37. No. 4: 453-470.
- Greiving, S., Fleischhauer, M., Lückenköter, J., (2006): A methodology for an integrated risk assessment of spatially relevant hazards, *Journal of Environmental Planning and Management* 49 (1), 1-19.
- Gu, Y., Brown, J.F., Verdin, J.P., Wardlow, B. (2007). A five-year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central Great Plains of the United States. *Geophysical Research Letters* 34, L06407, DOI:10.1029/2006GL029127
- Gulácsi, A., Kovács, F. (2018). Drought monitoring of forest vegetation using MODIS-based normalized difference drought index in Hungary. *Hungarian Geographical Bulletin* 67 (1), 29-42
- Gulácsi, A., Kovács, F. (2019). Radaralapú vizesélőhely-monitoring Sentinel-1 adatokkal. *Hidrológiai Közöny* 99(1), 38-47.
- Horváth, Á., Nagy, A., Simon, A., Németh, P. (2015). MEANDER: The objective nowcasting system of the Hungarian Meteorological Service. *Időjárás / Quarterly Journal Of The Hungarian Meteorological Service* 119/2, 197-213.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X., Ferreira, L.G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment* 83, 195-213.
- Huete, A., Justice, C., van Leeuwen, W. (eds) (1999). MODIS vegetation index (MOD 13) algorithm theoretical basic document, 1-6.
- ISDR (2009). Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. United Nations, Geneva, Switzerland. Available at: <https://www.unisdr.org/we/inform/publications/9413>
- Jackson, T.J., Chen, D., Cosh, M., Li, F., Anderson, M., Walthall, C., Doriaswamy, P., Hunt, E.R. (2004). Vegetation water content mapping using Landsat data derived normalized difference water index for corn and soybeans. *Remote Sensing of Environment* 92. pp. 475-482.
- Kern, A., Marjanovic, H., Dobor, L., Anic, M., Hlásny, T., Barcza, Z. (2017). Identification of Years with Extreme Vegetation State in Central Europe Based on Remote Sensing and Meteorological Data. *South-east European forestry (SEEFOR)*, 8 (1), 1-20.
- Kim, H., Park, J., Yoo, J. and Kim, T.W., (2015). Assessment of drought hazard, vulnerability, and risk: A case study for administrative districts in South Korea. *Journal of Hydro-environment Research*, 9(1), pp.28-35.
- Kirkham, M.B. (2014). Principles of Soil and Plant Water Relations. Academic Press, Elsevier. p. 579.
- Kiss, T., Benyhe, B. (2015). Micro-topographical surface alteration caused by tillage and irrigation canal maintenance and its consequences on excess water development. *Soil and Tillage* 142, 106-118.
- Kiss, T., Blanka, V. (2012). River channel response to climate- and human-induced hydrological changes: Case study on the meandering Hernád River, Hungary. *Geomorphology* 175, 115-125.

- Knutson, C., Hayes, M., Philips, T., (1998): How to reduce drought risk, Preparedness and Mitigation Working Group of the Western Drought Coordination Council, Lincoln, Nebraska.
- Kogan, F. N., (1997): Global drought watch from space, *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 78(4), 621–636.
- Kolaković, S., (2003): Vode Vojvodine - neki aspekti funkcionalnosti sistema za zaštitu spoljnih i unutrašnjih voda na području Vojvodine, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.
- Kovačević, V., Jeločnik, M., Subić, J., Zekić, V., Milić, D. and Zubović, J., (2017). Causality between corn production cost and cash corn price. *Custos e@ gronegocio*, 13(4), pp.2-16.
- Kovács, F. (2007). Assessment of regional variations in biomass production using satellite image analysis between 1992 and 2004. *Transactions in GIS* 11/6, 911–926.
- Kovács, F. (2018). NDVI/EVI monitoring in forest areas to assessment the climate change effects in Hungarian Great Plain from 2000. *Proc. SPIE 10783, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XX*, 107831H (10 October 2018); DOI: 10.1117/12.2325647
- 4257(93)90013-n
- Kozák, P. (2003). Az Alföldi belvizek elvezetése. *Hidrológiai Közlöny* 83/1, 51–61.
- Kozák, P. (2006). A belvízjárás összefüggéseinek vizsgálata az Alföld délkeleti részén, a vízgazdálkodás európai elvárásainak tükrében. – PhD-értekezés, Szeged. 86.
- Kozák, P. (2013). Belvizek kezelésének lehetőségei az Alsó-tiszai vízgyűjtőkön a 2010/11 és a 2013. évi belvizek tapasztalatai alapján. (Magyar Hidrológiai Társaság Országos Vándorgyűlés konferencia).
- Kozák, P. (2016). A területi vízgazdálkodás időszerű kérdései. (Magyar Hidrológiai Társaság Országos Vándorgyűlés konferencia).
- Kozma, Zs. (2013). Belvízi szélsőségek kockázatalapú értékelésének és modellezési módszertanának fejlesztése. Doktori (PhD) értekezés.
- Kruse, F., Lefkoff, A.B., Boardman, J., Heidebrecht, K.B., Shapiro, A.T., Barloon, P.J., Goetz, A. (1993). The Spectral Image Processing System (SIPS)-Interactive Visualization and Analysis of Imaging Spectrometer Data. *Remote Sensing of Environment* 44, 145–163. DOI: 10.1016/0034-
- Kumar, L., Mutanga, O. (2018). Google Earth Engine Applications Since Inception: Usage, Trends, and Potential. *Remote Sensing* 10(10) 1509. DOI:10.3390/rs10101509
- Kumpulainen, S., (2006): Vulnerability concepts in hazard and risk assessment, Natural and technological hazards and risks affecting the spatial development of European regions, Geological Survey of Finland, Special Paper 42, 65–74
- Ladányi, Zs., Rakonczai, J., Deák, Á. J. (2011a). A Hungarian landscape under strong natural and human impact in the last century. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 6 (2), 35-44.
- Ladányi, Zs., Rakonczai, J. , van Leeuwen, B. (2011b). Evaluation of precipitation,vegetation interaction on a climate,sensitive landscape using vegetation indices. *Journal of Applied Remote Sensing* 5, 053519, DOI:10.1117/1.3576115.
- Licskó, B, Vekerdy, Z., Szilágyi, A., Busics, I., (1987). Távérzékelési módszertani útmutató a meliorációs tanulmánytervek készítéséhez (Handbook for remote sensing methodology for the preparation of land improvement plans), Földmérési és Távérzékelési Intézet, Budapest.
- Malenovský, Z., Rott, H., Cihlar, J., Schaepman, M.E., García-Santos, G., Fernandes, R., Berger, M. (2012). Sentinels for science: Potential of Sentinel-1, -2, and -3 missions for scientific observations of ocean, cryosphere, and land. *Remote Sensing of Environment* 120, 91-101. DOI: 10.1016/j.rse.2011.09.026
- Marko, J., Jovanović, M., Tica, N. (1999): Kalkulacije u poljoprivredi, Futura publikacije, Novi Sad, 1998.
- Matić-Kekić, S. and Draginčić, J., (2013). AHP under incomplete information as a support for decision making in agriculture. *Letopis naučnih radova Poljoprivrednog fakulteta*, 37(1), pp.17-26.
- Mátyás, Cs., Führer, E., Berki, I., Csóka, Gy., Drüsler, Á., Lakatos, F., Móricz, N., Rasztovits, E.,

- Somogyi, Z., Veperdi, G., Víg, P., Gálos, B. (2010). Erdők a szárazsági határon. *Klíma-21 Füzetek* 61, 84-97.
- Mezősi, G., Blanka, V., Ladányi, Zs., Bata, T., Urdea, P., Frank, A., Meyer, B. (2016). Expected mid- and long-term changes in drought hazard for the South-Eastern Carpathian Basin. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 11 (2), 355-366.
- Milić, D., Mijić, K. and Jakšić, D., (2018). Opportunistic management behavior in reporting earnings of agricultural companies. *CUSTOS E AGRONEGOCIO ON LINE*, 14(1), pp.125-142.
- Mucsi, L., Henits, L. (2010). Creating excess water inundation maps by sub-pixel classification of medium resolution satellite images. *Journal of Environmental Geography* 3 (1-4), 31-40.
- Miljković, N. (2005). Meliorativna pedologija. Poljoprivredni fakultet u Novom Sadu, JVP Vode Vojvodine. Novi Sad.
- Moorhead, J.E., Gowda, P.H., Singh, V.P., Porter, D.O., Marek, T.H., Howell, T.A. and Stewart, B.A., (2015). Identifying and evaluating a suitable index for agricultural drought monitoring in the Texas high plains. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 51(3), pp.807-820.
- Narasimhan, B., Srinivasan, R. (2005). Development and evaluation of Soil Moisture Deficit Index (SMDI) and Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) for agricultural drought monitoring. *Agricultural and Forest Meteorology* 133/1, 69-88.
- Nestorov, I., Protić, D. (2006). Implementacija CORINE Land Cover projekta u Srbiji i Crnoj Gori. Geodetska služba. 105: 25-29.
- OMSZ (2019a). Talajnedvesség és talajhőmérséklet <https://www.met.hu/idojaras/agrometeorologia/talaj/index.php#meres>
- OVF Aszálymonitoring (2019). <http://aszalymonitoring.vizugy.hu>
- Pálfai, I. (2001). A belvíz definíciói. *Vízügyi Közlemények*, 83, 376-392.
- Pálfai, I., (2003). Magyarország belvíz-veszélyeztetettségi térképe. *Vízügyi közlemények* 85 (3), 510-524.
- Pálfai I. (2004). Belvizek és aszályok Magyarországon. Hidrológiai tanulmányok. VITUKI, Budapest, 492 p.
- Palmer, W.C. (1965). Meteorological Drought. Research Paper No.45, U.S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington, D.C., USA.
- Pantelić, P. (1966). Odvodnjavanje Čuruško-Žabaljskog sliva (Glavni projekat). Hidrozavod: Projektni biro direkcije za izgradnju hidrosistema Dunav-Tisa-Dunav. Novi Sad.
- Paredes, P., Pereira, L.S., (2010): Water balance and irrigation scheduling simulation model – the WinISAREG model, Draft manual (v. 1.3), CEER-Biosystems Engineering, Institute of Agronomy, Technical University of Lisbon, pp. 69.
- Pásztor, L., Körösparti, J., Bozán, Cs., Laborczi, A., Takács, K. (2014). Spatial risk assessment of hydrological extremities: Inland excess water hazard, Szabolcs-Szatmár-Bereg County, Hungary. *Journal of Maps* 11(4), 636-644. DOI: 10.1080/17445647.2014.954647
- Pásztor, L., Pálfai, I., Bozán, Cs., Körösparti, J., Szabó, J., Bakacsi, Zs., Kuti, L. (2006). Spatial stochastic modelling of inland inundation hazard, 9th AGILE Conference on Geographic Information Science, Visegrád, Hungary, 139-143.
- Perdikaris, J., Gharabaghi, B., Rudra, R. (2018). Reference Time of Concentration Estimation for Ungauged Catchments. *Earth Science Research*. Vol. 7. No. 2: 58-73.
- Pereira, L.S., A.A. Paulo, (2003): Drought: Concepts, Indices and Prediction, Options Mediterranean, Serie B. n. 47, 113 – 144.
- Petronijević, M., Dihovični, Đ., Petrović, S., (2010) Uticaj eko rizika na kvalitet života, 5. nacionalna konferencija o kvalitetu života, Kragujevac
- Potopová, V., Štěpánek, P., Možný, M., Türkott, L. and Soukup, J., (2015). Performance of the standardised precipitation evapotranspiration index at various lags for agricultural drought risk assessment in the Czech Republic. *Agricultural and Forest Meteorology*, 202, pp.26-38.
- Priváczkíné, H. Zs., Endrődi, I., Muhoray, Á. (2019). A belvíz elleni védelem új lehetőségei a korszerű polgári védelem rendszerével. *Védelem Tudomány*. IV. /2019, 183-210. ISSN 2498-6194.

- Priváczkíné, H. Zs., Muhoray, Á. (2018). Állami szerepvállalás a belvízvédekezési tevékenységben. Hadmérnök. IV/2018, 221-240. ISSN 1788-1919.
- Prohaska, S., (2006): Hidrológija II deo; izd. Inst. za vodoprivredu "Jaroslav Černi".
- Rajić, M., Bezdan, A., (2012): Contribution to Research of Droughts in Vojvodina Province, Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, 7, 3, 101 - 107.
- Rajić, M., Josimov-Dundërski, J. (2009). Opšta hidrologija. Univerzitet u Novom Sadu. Poljoprivredni fakultet. Novi Sad.
- Rakonczi, J. (2011). Effects and consequences of global climate change in the Carpathian Basin. In: Blanco J., Kheradmand H. (eds.): Climate Change - Geophysical Foundations and Ecological Effects. Rijeka: InTech, 2011, 297-322.
- Rakonczi, J., Csató, Sz., Mucsi, L., Kovács, F., Szatmári, J. (2003). Az 1999. és 2000. évi álföldi belvíz-elöntések kiértékelésének gyakorlati tapasztalatai. *Vízügyi Közlemények*, 1998-2001. évi árvízi külön füzetek. IV. kötet, 317-336.
- Rakonczi, J., Farsang, A., Mezősi, G., Gál, N. (2014a). A belvízképződés elméleti háttere. *Földrajzi Közlemények* 135/4, 339-349.
- Rakonczi, J., Fiala, K., Mesaroš, M., Frank, A., Popov, S. (2014b). Water management conflicts. In: Blanka, V., Ladányi Zs. (eds) Drought and Water Management in South Hungary and Vojvodina. Szegedi Tudományegyetem, Szeged, 78-80.
- Rakonczi, J., Mucsi, L., Szatmári, J., Kovács, F., Csató, Sz. (2001). A belvizes területek elhatárolásának módszertani lehetőségei, Magyar Földrajzi Konferencia, CD kiadvány, 1-14.
- Saaty, T.L. (1980) The Analytical Hierarchy Process; McGraw-Hill: New York, NY, USA, 1980.
- SEERISK (2014). Guideline on climate change adaptation and risk assessment in the Danube macro - region. South East Europe Transnational Cooperation Programme. Programme co-founded by European Union.
- Shahid, S. and Behrawan, H., (2008). Drought risk assessment in the western part of Bangladesh. *Natural Hazards*, 46(3), pp.391-413.
- Sipos, Gy. (2006). A meder dinamikájának vizsgálata a Maros magyarországi szakaszán. Doktori értekezés, Szegedi Tudományegyetem.
- Smailagic, J., Savovic, A., Markovic, D., Nesic, D. (2013). Climate characteristics of Serbia. Republic Hydrometeorological Service of Serbia
- Solano, R., Didan, K., Jacobson, A., Huete, A. (2010). MODIS vegetation index user's guide (MOD13 Series) p. 42.
- Sönmez, F.K., Koemuescue, A.U., Erkan, A. and Turgu, E., (2005). An analysis of spatial and temporal dimension of drought vulnerability in Turkey using the standardized precipitation index. *Natural Hazards*, 35(2), pp.243-264.
- Spasojević B., Stanačev S., Starčević Lj. , Marinković B. (1994): Posebno ratarstvo I, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
- Spinoni, J., Antofie, T., Barbosa, P., Bihari, Z., Lakatos, M., Szalai, S., Szentimrey, T., Vogt, J. (2013). An overview of drought events in the Carpathian Region in 1961–2010. *Advances in Science and Research*, 10, 21-32. DOI: 10.5194/asr-10-21-2013
- Srdjevic Z., Bezdan A., Blagojevic B., Dunkel Z., Srdjevic B. (2015): Spatial multi-criteria evaluation of land suitability for irrigation in Vojvodina Province (Serbia) based on its soil and climate characteristics. *Italian Journal of Agrometeorology (IJAm)*, Special Issue: Water footprint applications for water resource management in agriculture: 97-103.
- Srivastava, P., Petropoulos, G., Kerr, Y.H (2016). *Satellite Soil Moisture Retrieval, Techniques and Applications*. Elsevier. p. 440.
- Szabó, Sz., Elemér, L., Kovács, Z., Püspöki, Z., Kertész, Á., Singh, S.K., Balázs, B. (2019). NDVI dynamics as reflected in climatic variables: spatial and temporal trends – a case study of Hungary. *GIScience & Remote Sensing*, 56(4), 624-644.

- Szabó, Sz., Gácsi, Z., Balázs, B. (2016). Specified features of NDVI, NDWI and MNDWI as reflected in land cover categories. *Landscape and Environments* 10 (3-4), 194-202
- Szatmári, J., van Leeuwen, B. (2013). Inland Excess Water – Belvíz – Suvišne Unutrašnje Vode, Szeged-Újvidék, Szegedi Tudományegyetem- Újvidéki Egyetem, p.154.
- Thywissen, K., (2006) "Components of Risk: A Comparative Glossary", Source 2, Bonn: Publication Series of UNU-EHS.
- Török, I. Gy. (1997). „Eszmetöredékek” a belvíz fogalmának korszerűbb értelmezése és a belvízvédkezés gazdaságossága tárgyában. MHT. XV. Országos Vándorgyűlés Kaposvár.
- Turner II, B.L., Kasperson, R.E., Matson, P., McCarthy, J.J., Corell, R.W., Christensen, L., Eckley, N., Kasperson, J.X., Luers, A., Martello, M.L., Polsky, C., Pulsipher, A., Schiller, A., (2003): A Framework for Vulnerability Analysis in Sustainability Science. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*. Vol. 100, No. 14. pp. 8074-8079
- UN/ISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction), (2004): *Living with Risk. A Global Review of Disaster Reduction Initiatives*. 2004 version. United Nations, Geneva, pp. 430.
- van Leeuwen, B., Mezősi, G., Tobak, Z., Szatmári, J., Barta, K. (2012). Identification of inland excess water floodings using an artificial neural network. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 7 (4), 173–180.
- van Leeuwen, B., Henits, L., Mészáros, M., Szatmári, J., Tobak, Z., Pavic, D., Savic S., Dolinaj, D. (2013). Belvíz-elöntések lehatárolása RapidEye műhold-felvételek alapján. *Hidrológiai Közöny*, 93(3), 17-24.
- van Leeuwen, B., Tobak, Z., Kovács, F., Sipos, G. (2017). Towards a continuous inland excess water flood monitoring system based on remote sensing data. *Journal of Environmental Geography*, 10(3-4), 9-15. DOI: <https://doi.org/10.1515/jengeo-2017-0008>
- Vicente-Serrano, S.M., Pons-Fernandez, X., Cuadrat-Prats, J.M. (2004). Mapping soil moisture in the central Ebro river valley (northeast Spain) with Landsat and NOAA satellite imagery: a comparison with meteorological data. *International Journal of Remote Sensing* 25/20. 4325-4350.
- Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S. and López-Moreno, J.I., (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of climate*, 23(7), pp.1696-1718.
- Vranešević, M., Belić, S., Kolaković, S., Kadović, S., Bezdan, A. (2017). Estimating suitability of localities for biotechnical measures on drainage system application in Vojvodina. *Irrig. and Drain.* 66: 129–140.
- Vuković, A. (2016). Posledice klimatskih promena u Srbiji, Poljoprivredni fakultet – Univerzitet u Beogradu. http://jedanstepen.org/wp-content/uploads/2016/11/Klimaton5_AVukovic.pdf
- Vuksanović, G. (2011). *Poplave: uzroci, posledice i postupci za njihovo istraživanje*, Novi Sad: Filozofski fakultet.
- Vuksanović, G., Nagy, I. (2017). Prirodne katastrofe u svesti stanovništva i spremnost za suočavanje sa njima (Natural disasters in the awareness of the population and their readiness for facing them), Novi Sad: Matica srpska.
- Wilhelmi, O.V., Wilhite, D.A., (2002): Assessing vulnerability to agricultural drought: a Nebraska case study, *Natural Hazards* 25:37–58.
- Wilhite, D.A. (ed.), (2005): *Drought and Water Crises: Science, Technology, and Management Issues*. CRC Press. Boca Raton, FL., pp. 406.
- Wilhite, D.A., Glantz, M.H., (1985): Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International* 10(3):111–120.
- World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP) (2016). *Handbook of Drought Indicators and Indices* (Svoboda, M.D., Fuchs, B.A.). Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. Geneva.

- Wang, Z. (1999). MODIS Land Surface Temperature Algorithm Theoretical Basis Document (LST ATBD). 2-6.
- Xu, H. (2005). A study on information extraction of water body with the modified normalized difference water index (MNDWI). *International Journal of Remote Sensing* 5, 589-595. DOI: 10.1080/01431160600589179
- Zargar, A., Sadiq, R., Naser, B., Khan, F.I. (2011). A review of drought indices. *Environmental Reviews* 19, 333-349.
- Živkovic, B., Nejgebauer, V., Tanasijevic, Dj, Miljkovic, N., Stojkovic, L., Drezgic, P., (1972): Soils of Vojvodina, Institute for agricultural research, Novi Sad, pp. 685.

Internetes hivatkozások/ Elektronski izvori/Online references:

- Corine Land Cover (CLC): <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>
- Drought Watch: <https://droughtwatch.eu/>
- European Drought Observation: <http://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1000>
- LUCAS: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/lucas>
- Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer (NATÉR): <https://map.mbfisz.gov.hu/nater/>
- Távérzékelési Erdőállapot Monitorozó Rendszer (TEMRE): <http://klima.erti.hu/home/erdoallapot-monitoring-2/>
- Decenije koje su pojele skakavci: POLJOPRIVREDA SRBIJE OD 1976-2017, 2018. <http://www.mak-roekonomija.org/0-dragovan-milicevic/decenije-koje-su-pojeli-skakavci-poljoprivreda-srbije-od-1976-2017/>
- Navodnjavanje u Republici Srbiji, 2017. <http://www.stat.gov.rs/sr-latn/vesti/20171215-navodnjavanje/?a=25&s=0>
- Navodnjavanje, (2018). <http://www.stat.gov.rs/sr-latn/vesti/20190109-navodnjavanje-2018/?a=25&s=0>
- MERIEXA - Measurement, monitoring, management and Risk assessment of inland Excess Water in South-East Hungary and North Serbia (Using remotely sensed data and spatial data infrastructure) <http://www.geo.u-szeged.hu/meriexwa/>
- Održivo korišćenje prirodnih resursa 2007 – 2013. http://indicator.sepa.gov.rs/pretrazivanje-indikatora/indikatorilat/plomino_documents/66965dbd229e43e69c30556aaad3f16f/
- OMSZ (2019b): https://www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt_valtozasok/
- Pravilnik o nacionalnoj listi indikatora zaštite životne sredine (2011). Šumarstvo, lov i ribolov, Službeni Glasnik Republike Srbije br. 37/2011 <http://indicator.sepa.gov.rs/pretrazivanje-indikatora/nacionalna-lista-indikatora-1/pravilnik-o-nacionalnoj-listi-indikatora-zastite-zivotne-sredine#NLI.8.46>
- Privredna komora Vojvodine, <http://www.pkvr.rs/>, (Retrieved in 2016)
- Srbija i klimatske promene (2015). GEF (Global Environment Facility), Ministarstvo poljoprivrede i zaštite životne sredine Republike Srbije, UNDP http://www.cekor.org/documents/pages/583_1.pdf
- Zaštita od štetnog dejstva voda, (2017). <http://www.stat.gov.rs/sr-latn/vesti/20180507-zaštita-od-shtetnog-dejstva-voda-2017/?a=25&s=0>
- Vode (2011). <http://indicator.sepa.gov.rs/pretrazivanje-indikatora/indikatorilat/allfindp/159eb85a-58b043ad9d23aef5eeb1e47f>
- WAHA STRAT – Water shortage hazard and adaptive water management strategies in the Hungarian-Serbian cross-border region <https://wahastrat.vizugy.hu/>